ÜBER DAS ZUSAMMENWIRKEN ENDOGENER RHYTHMEN IM SCHLAF-WACH-VERHALTEN EINES JUNGEN SÄUGLINGS IM 1. TRIMENON

Ursula Schuller
geb. Hall

München 1979

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546803_0034

Aus der Forschungsstelle für Soziale Pädiatrie
und Jugendmedizin an der Universität München

Leiter: Prof. Dr. med. Th. Hellbrügge

ÜBER DAS ZUSAMMENWIRKEN ENDOGENER RHYTHMEN IM SCHLAF-WACH-VERHALTEN EINES JUNGEN SÄUGLING IM 1. TRIMENON

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilian-Universität zu München

vorgelegt von
Ursula Schuller
geb. Hall
aus
München
1979

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr.med. Th. Hellbrügge

Mitberichterstatter:

Dekan: Prof. Dr.med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 2. 10. 1979

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
1.	Schlaf-Wach-Verhalten	3
1.1	Definition	3
1.2	Frühgeborenes	4
1.3	Säugling	5
1.4	Erwachsene	8
2.	Ruhe-Aktivitätszyklen	9
2.1	Schlafstadien	9
2.1.1	Definition	9
2.1.2	Zyklisches Verhalten der Schlafstadien	11
2.2	BRAC	14
2.2.1	Tierversuch	14
2.2.2	Untersuchungen am Menschen	15
2.3	Zentralnervöse Regulation des Schlafzyklus	16
III.	METHODIK	20
1.	Anamnese	20
2.	Pflegemaßnahmen	20
3.	Verhaltensbeobachtungen und polygraphische Messungen	21
4.	Registrierung	23
4.1	Schlaf-Wach-Verhalten	23
4.2	Schlafstadienzyklus	24
IV.	ERGEBNISSE	
1.	Periodische Strukturen im Schlaf-Wach-Verhalten	23
1.1	Auswertungsmodus	25
1.2	Analyse der Dichteverteilung der Wachphasen	27
1.3	Zusammenfassende Betrachtung	28

Seite

2. Erstes Lächeln und Entwicklung der EEG-Spindeln 29

2.1 Erstes Lächeln 29

2.2 Entwicklung der EEG-Spindeln 30

3. Zeitliche Beziehung zwischen REM-Stadien und Wachphasen 31

3.1 Auswertungsmodus 32

3.2 Analyse der Profildiagramme 33

V. DISKUSSION 39

1. Interpretation der Dichteverteilung der Wachphasen 39

2. Interpretation der Profildiagramme 43

3. Zusammenfassende Betrachtung und Deutung der Ergebnisse 46

VI. ZUSAMMENFASSUNG 49

VII. LITERATURVERZEICHNIS 51

I. EINLEITUNG

Das biologische Verhalten des Menschen wird geprägt von rhythmischen Komponenten, die teils genetisch fixiert, teils erworben sind. Umwelteinflüsse haben dabei modulierenden Charakter und erschweren eine Beurteilung der einzelnen biologischen Rhythmen, vor allem beim Erwachsenen. Dagegen werden beim Säugling Umweltfaktoren für das biologische Verhalten von geringerer Bedeutung sein, aufgrund des noch unausgereiften sensomotorischen Nervensystems. Bei der Untersuchung rhythmischer biologischer Prozesse sind deshalb Neugeborene und Säuglinge bevorzugte Beobachtungsobjekte. Die Ergebnisse aus Verhaltensbeobachtungen wie EEG-Aufzeichnungen zu verschiedenen Entwicklungsstadien des Säuglings zeigen, daß mehrere endogene Rhythmen für das biologische Verhalten, und damit für die zeitliche Organisation der physiologischen Prozesse verantwortlich sind.
Von verschiedenen Autoren wurden für die ersten drei Lebensmonate des Säuglings folgende drei Grundzyklen beschrieben, die im wesentlichen für die Zeitstruktur der postnatalen Entwicklung bestimmend sind.

1. ein ultradianer Rhythmus mit einer Periode von vier Stunden, der bei einem nach "self-demand-schedule" gepflegten Kind in diesem Abstand einen Übergang in den Wachzustand bewirkt. (GESELL 1943)

2. eine circadiane Periodik mit einer Periodenlänge von 20 bis 28 Stunden, die für das Kind einen dem Erwachsenen ähnlichen Tagesablauf bringt. (HALBERG 1965)

3. einen hochfrequenten Rhythmus mit einer ca. 50-Minutenperiodik, der nach KLEIMAN (1969) unabhängig von dem Schlaf-Wachrhythmus ist. Er wird als Ruhe-Aktivitätszyklus bezeichnet.

Nach ASCHOFF und WEVER (1965, 1962) ist es wahrscheinlich, daß mehrere biologische Rhythmen innerhalb eines Organismus nicht unabhängig von einander bestehen. Eher ist anzunehmen, daß sie ein System gekoppelter Oszillatoren durch gegenseitige Beeinflussung bilden.
Inwieweit nun die drei oben genannten Zyklen von einander unabhängige Prozesse darstellen oder miteinander gekoppelt sind, darüber existieren ungenaue Aussagen.

Anhand einer Langzeitstudie an einem Säugling vom Tag der Geburt bis Ende des vierten Lebensmonats sollte mit Hilfe der Ergebnisse über das Schlaf-Wach-Verhalten und die Entwicklung des Schlafmusters hierzu ein Beitrag geleistet werden. Durch eine vergleichende Darstellung der drei genannten Rhythmen wurde versucht einige Interaktionen deutlich zu machen.

II. LITERATURÜBERSICHT:

1. Schlaf-Wach-Verhalten:

1.1 Definition:

Wachzustand und Schlaf beim Menschen können sowohl aufgrund des Verhaltens als auch anhand physiologischer Parameter definiert werden. Daten aus Verhaltensbeobachtungen erweisen sich als Definitionsgrundlage des Schlaf-Wachzustandes als ungenau. Demgegenüber bieten polygraphische Untersuchungen anhand des EEG (unter normalen Untersuchungsbedingungen) zusammen mit Verhaltensstudien beim Erwachsenen akzeptable Kriterien zur Identifikation der so unterschiedlichen physiologischen Zustände.

DEMENT und KLEITMAN (1957) definierten anhand der polygraphischen Muster für den Wachzustand ein desynchronisiertes EEG mit schneller, niedervoltiger Aktivität, das bei Entspannung im Wechsel auch Abschnitte mit periodischen Potentialschwankungen um 10/sec zeigt. Dieses periodische EEG-Muster wird als Alpha-Rhythmus bezeichnet.
Das EEG des normalen Schlafes zeigt zwei grundsätzlich verschiedene Schlafstadien, die sich periodisch abwechseln:

der inaktive, ruhige Schlaf (NREM-Schlaf) und
der aktive, paradoxe Schlaf (REM-Schlaf)
(JOUVET 1967)

Der NREM-Schlaf ist charakterisiert durch ein synchronisiertes EEG mit langsamen Potentialschwankungen höherer Amplitude. Er wird in vier Schlafstadien unterteilt. Der inaktive Schlaf wird unterbrochen in regelmäßigen Abständen von Phasen mit desynchronisiertem, niedervoltigem EEG, den REM-Phasen. (eine genaue Beschreibung der einzelnen Schlafstadien erfolgt unter Punkt 2.1.1)

Wachzustand und Schlaf bestimmen den Tagesablauf des Menschen. In der Periodik des Auftretens von Schlaf- und Wachzustand werden von verschiedenen Autoren alters- und entwicklungsspezifische Charakteristika beschrieben.

1.2 Frühgeborenes:

Untersuchungen von DREYFUS-BRISAC 1968 an fünf Frühgeborenen zwischen der 14. und 27. Gestationswoche (Gewicht 800 bis 900 g) ergaben, daß ein Wachzustand, wie er für den Erwachsenen definiert wird, bei diesen Kindern nicht beobachtet werden kann. Ebenso fehlt zu diesem Zeitpunkt das für den ruhigen Schlaf typische EEG-Muster mit 2/sec Wellen mit einer Amplitude von über 75 uV. Zwar konnte die Autorin bei Frühgeborenen der 24. und 27. Gestationswoche bereits verschiedene aktive Bewegungen differenzieren, die PARMELEE (1967) als Charakteristika des REM-Schlafes deutete, doch ist aufgrund des Fehlens von Augenbewegungen eine eindeutige Aussage über die Existenz eines REM-Schlafes in diesem Alter nicht möglich. Daher sprechen PARMELEE (1967) und DREYFUS-BRISAC (1967, 1968) von einem atypischen Schlaf bei Frühgeborenen zwischen der 24. und 27. Gestationswoche.

Bei Frühgeborenen im Alter von 30 Wochen nach Konzeption fand DREYFUS-BRISAC (1964) einen Schlaf-Wachzustand ähnlich dem Neugeborener, wobei jedoch eine Periodik im Auftreten von Schlaf und Wachen nicht zu beobachten war.

Mit Aktivitätsmessungen intrauterin und postpartum zeigten PAYNE und BACH (1965), daß der Fetus unter dem Einfluß der mütterlichen Aktivität in deren

Wachzustand steht. So kann unmittelbar vor der Geburt beim Feten eine periodische Gliederung von Aktivität und Ruhe in Abhängigkeit von der mütterlichen Aktivität registriert werden, die sich nach der Geburt im Wechsel von Schlaf und Wachen widerspiegelt.
1946 beschrieb HARRIS ein Maximum fetaler Aktivität gegen Abend, dann also, wenn die Mutter nach den Anstrengungen des Tages einen Aktivitätsabfall hat.

SCHNEIDER (1941) erklärt dieses reziproke Verhalten von Fetus und Mutter mit dem hohen Sauerstoffangebot für den Feten während einer relativen Ruhepause der Mutter, welches zu gesteigerter Aktivität des Kindes führt.

Zusammenfassend ergibt sich aus den Untersuchungen der oben erwähnten Autoren, daß vor der 30. Schwangerschaftswoche ein Schlaf-Wachzustand ähnlich dem Neugeborener, nicht besteht. Ab diesem Zeitpunkt kann zwischen Schlaf und Wachen differenziert werden, jedoch besteht im Auftreten beider Zustände keine Periodik. Erst kurz vor der Geburt kann eine periodische Gliederung im Schlaf-Wach-Verhalten des Feten registriert werden, die auch nach der Geburt den Tagesablauf des Neugeborenen beeinflußt.

1.3 Neugeborenes, Säugling:

Beim Neugeborenen beschrieb GESELL (1943) eine spontane Periodik im Schlaf-Wach-Verhalten. Das nach "self-demand schedule" gepflegte Kind wechselte in einem Abstand von ca. vier Stunden in den Wachzustand. Daß dieses rhythmische Verhalten unabhängig vom Grad des Hungers und der aufgenommenen Nahrungsmenge ist, bewies MORATH (1974). Seine Untersuchungen zeigten, daß die Verteilung der Mahlzeiten nach "self-demand"-

Modus jeweils Intervallen eines Vielfachen von vier Stunden entsprechen. Für einen selbständigen, endogenen Vier-Stunden-Zyklus des Säuglings sprechen auch die Ergebnisse von EMDE (1975). Er beobachtete Neugeborene, die für sechzehn Stunden nach der Geburt nicht gefüttert wurden. Trotz Nahrungskarenz erwachten die Kinder mit einer Regelmäßigkeit von vier Stunden.

Ähnliche Ergebnisse zeigten auch Untersuchungen von PARMELEE (1961) anhand einer Längsschnittstudie an einem Säugling vom Tag der Geburt bis zum achten Lebensmonat.

Aufzeichnungen von HELLBRÜGGE (1959, 1967 b) über das Schlaf-Wach-Verhalten in der ersten postnatalen Lebensphase deuten ebenfalls auf einen freilaufenden Rhythmus von drei bis vier Stunden hin.

Unmittelbar nach der Geburt ca. zur vierten Lebenswoche verteilen sich Schlaf-Wachperioden gleichmäßig über Tag und Nacht (HELLBRÜGGE 1960, RUTENFRANZ 1961), wobei die einzelnen Schlafperioden gewöhnlich drei bis vier Stunden dauern (PARMELEE 1964).

Im Laufe der ersten Lebenswochen kommt es zu einer Verlängerung der einzelnen Schlaf-Wachphasen (HELLBRÜGGE 1960). Untersuchungen von KLEITMAN (1963) zeigten, daß die Zahl der ultradianen Schlaf-Wach-Zyklen pro Tag mit zunehmendem Alter des Säuglings abnehmen. Gleichzeitig kommt es zu einer Verschiebung der Schlafphasen in die Nacht (PARMELEE 1964). Ab der zwölften Lebenswoche kann man nach Untersuchungsergebnissen von PARMELEE (1973) vor allem nachts mit längeren ununterbrochenen Schlafperioden rechnen.

In der fünften Lebenswoche steht nach Studien von KLEITMAN und ENGELMANN (1953) das Schlaf-Wach-Verhalten bereits unter dem Einfluß des circadianen Rhythmus. Nach Meinung der Autoren entwickelt sich diese circadiane Periodik des Säuglings schrittweise mit der Reifung der verschiedenen Organe und Organsysteme während der Entwicklung des Kindes.
Auch PARMELEE (1964) setzt die Änderung des Schlaf-Wach-Verhaltens mit dem Reifegrad des Kindes in Beziehung. Er beobachtete bei den von ihm untersuchten Säuglingen ein Einschwingen in den circadianen Tagesablauf zwischen der achten und sechzehnten Lebenswoche, wobei die Kinder nachts länger durchzuschlafen beginnen.

Eine vergleichende Gegenüberstellung des Schlaf-Wach-Verhaltens von drei Kindern nach Untersuchungen von KLEITMAN und ENGELMANN (1953), PARMELEE (1961) und HALBERG (1963), ließ erkennen, daß jedes der Kinder eine individuelle, circadiane Periodendauer zwischen 23 und 25 Stunden hatte. Auch variierte bei jedem Kind die Einschwingdauer in diesen Rhythmus (HELLBRÜGGE 1965, 1967 a).

Im Gegensatz zu Frühgeborenen hat das Neugeborene gleich nach der Geburt eine deutliche ultradiane Tagesgliederung im Schlaf-Wach-Verhalten. Unter Bedingungen des "self-demand-feeding" wird eine Vier-Stunden-Periodik beobachtet. Mit zunehmendem Alter des Kindes registriert man eine Verschiebung der Schlafphasen in die Nacht (PARMELEE 1964), wobei ungefähr ab der fünften Lebenswoche die Circadian-Periodik das Schlaf-Wach-Verhalten beeinflußt. (KLEITMAN und ENGELMANN 1953). Dabei ist die Einschwingdauer (Zeitspanne von der Geburt bis zur Synchronisation mit der exogenen 24-Stunden-Periodik) in die circadiane Periodik individuell verschieden (HELLBRÜGGE 1965, 1967 a).

1.4 Erwachsener:

Beim Erwachsenen ist das Schlaf-Wach-Verhalten den Umwelteinflüssen unterworfen und wird durch diese modifiziert. Nach BERT und PEGRAM (1972) sind auch Einflüsse genetischer wie lernbezogener Art wirksam. Diese exogenen Faktoren bei der Beurteilung des Schlaf-Wach-Verhaltens als endogenen Prozeß auszuschalten, war das Bestreben verschiedener Autoren.

Beginnend mit Untersuchungen an Vögeln fand ASCHOFF (1954), daß unter experimenteller Isolation die biologische Periodik der Tiere nach einer bestimmten Zeit von der exakten 24-Stunden-Periodik abwich. Dabei ging jedoch die circadiane Rhythmik nicht verloren (ASCHOFF 1955).

HALBERG kam 1954 bei seinen Versuchen mit Mäusen und Ratten zu einem ähnlichen Ergebnis. Er konnte zeigen, daß unter konstanten Umweltbedingungen das Tier eine von der 24-Stunden-Periodik abweichende, spontane, circadiane Periodik entwickelt. Bei normalen Umweltbedingungen wird diese spontane Rhythmik durch exogene Einflüsse synchronisiert.

Daß diese Ergebnisse aus tierexperimentellen Studien auch auf den Menschen zu übertragen sind, bewiesen ASCHOFF und WEVER (1962) an neun erwachsenen Personen. Die Erwachsenen wurden über längere Zeit bei konstanten Umweltbedingungen beobachtet. Vom ersten Tag der Isolation entwickelte sich bei jeder Person eine spontane, von der Erdumdrehung abweichende, circadiane Periodizität. Die mittlere Periodik lag bei 25,9 Stunden. Dieses bei allen Personen zu beobachtende Abweichen von der 24-Stunden Tagesperiodik unter konstanten Ver-

suchsbedingungen, wird von den Autoren als Beweis für die Existenz einer endogenen circadianen Rhythmik geltend gemacht. (ASCHOFF 1965, 1967; WEVER 1966)

HALBERG prägte 1959 für diese endogene Tagesperiodik den Begriff "Circadian-Periodik", die für ASCHOFF (1954) einen genetisch fixierten Faktor des biologischen Verhaltens des Menschen darstellt. Die diesen endogenen Zyklus beeinflussenden Umweltfaktoren wie Licht, Temperatur und soziale Muster, bezeichnet HALBERG (1959) als "synchronizer" oder "Zeitgeber".

Demnach ist die circadiane Periodik des Schlaf-Wach-Verhaltens des Erwachsenen ursprünglich ein rein endogener Prozeß, der genetisch fixiert ist (ASCHOFF 1954). Durch "Zeitgeber" (HALBERG 1959) wird eine von 24-Stunden abweichende Periode (z. B. 25,9 Stunden) zu einer Tagesperiodik von 24 Stunden synchronisiert.

2. Ultradiane Zyklen:

Die periodische Gliederung des Schlaf-Wach-Verhaltens ist nur eine Komponente der biologischen Rhythmen, die beim Menschen beobachtet werden können.
Im Interesse verschiedener Autoren bei der Untersuchung biologischer Vorgänge standen in den letzten Jahren die relativ hochfrequenten, ultradianen Rhythmen.
Ihre Perioden sind im Gegensatz zur oben erwähnten circadianen Schlaf-Wachperiodik kürzer als 24 Stunden.

2.1 Schlafstadien:

2.1.1 Definition:

Nach ASKERINSKY und KLEITMAN (1955) ist Schlaf kein homogener Vorgang, sondern vielmehr charakterisiert durch einen periodischen Wechsel verschiedener Stadien.

ASKERINSY und KLEITMAN fanden 1955 bei Untersuchungen an zwanzig normalen Erwachsenen während des Schlafs Phasen relativer körperlicher Ruhe im Wechsel mit Abschnitten körperlicher Aktivität, schneller Augenbewegungen und EEG-Veränderungen. JOUVET (1967) bezeichnete ersteres Stadium als inaktiven, ruhigen Schlaf (NREM-Schlaf), letzteres als aktiven, paradoxen Schlaf (REM-Schlaf).

Anhand polygraphischer Aufzeichnungen differenzierten DEMENT und KLEITMAN (1957) während des NREM-Schlafes vier verschiedene EEG-Stadien, die während des Nachtschlafes mehrmals zu beobachten sind.
EEG-Stadium 1 zeigt ein EEG gemischter Frequenz mit niederer Amplitude und wird vor allem beim Einschlafen oder nach Körperbewegungen während des Schlafs beobachtet.

EEG-Stadium 2 entspricht dem leichten Schlaf und wird charakterisiert durch Schlafspindeln von einer Frequenz von 12-14/sec bei einer Dauer von mindestens einer halben Sekunde (LENARD 1970).

Mit beginnendem Tiefschlaf-EEG-Stadium 3 dominieren langsame mittelhohe Deltawellen mit einer Frequenz von 1-3/sec.

Der ruhige Tiefschlaf-EEG-Stadium 4 zeigt langsame Potentialschwankungen von über 75 uV Amplitudenhöhe.

Die besonderen Kennzeichen des REM-Schlafes sind ein desynchronisiertes EEG, unregelmäßige, rasche Augenbewegungen und körperleiche Aktivität. Gleichzeitig ist während des REM-Schlafes der Muskeltonus reduziert (JOUVET 1962).

Die Zeitspanne von einem REM-Stadium bis zum Beginn einer zweiten REM-Phase bezeichnete STERN (1969) als Schlafzyklus.

2.1.2 Zyklisches Verhalten der Schlafstadien:

An vierzehn Säuglingen wurden von ASKERINSKY und KLEITMAN (1955) die Augen- und Körperbewegungen während des Schlafs registriert. Dabei fand sich ein periodisches Auftreten dieser physischen Kriterien des REM-Schlafs in einem Abstand von 50 bis 60 Minuten.

Polygraphische Untersuchungen von STERN et al. (1969) an Neugeborenen und Säuglingen zeigten eine REM-Phasenperiodik von 47 Minuten beim Neugeborenen. Die Ergebnisse der Autoren ergaben jedoch auch eine altersabhängige Änderung dieser Periodik. Die Intervalle zwischen zwei REM-Phasen nehmen mit dem Alter des Säuglings zu. Im Alter von acht Monaten beträgt die Dauer eines Schlafzyklus' im Durchschnitt 50,3 Minuten. Durch die Verlängerung der ruhigen Schlaf-(QS)-Phasen wird der prozentuale Anteil des ruhigen Schlafs, bezogen auf die totale Schlafzeit (TST) größer. Der Anteil des aktiven Schlafs (AS) nimmt entsprechend ab.

Vergleichende Studien von ROFFWARG (1964, 1966) an Neugeborenen und Säuglingen ergaben für das Neugeborene einen REM-Schlafanteil an der totalen Schlafzeit von 50 %, bei Säuglingen von drei Monaten nur mehr von 40 %.
Zu diesem Zeitpunkt wird der ruhige Schlaf (QS) im Schlafablauf dominierend (PARMELEE 1972).
Zu gleichen Ergebnissen kamen DITTRICHOVA (1969) und ELLINGSON (1972).

Die periodische Gliederung des Schlafs, sowie die altersabhängige, zeitliche Veränderung in der Zyklusdauer, ist keineswegs ein Prozeß, der erst mit der Geburt beginnt.

Schon Frühgeborene zur 37. Gestationswoche zeigen, nach Studien von DREYFUS-BRISAC (1967), eine zweiphasige Organisation des Schlafs. Dabei ist der Anteil des AS an der totalen Schlafdauer ungefähr 63 %. Die Schlafzyklen selbst sind im Vergleich zum Neugeborenen noch ziemlich unregelmäßig in ihrem Auftreten (PARMELEE 1967).

Der hohe prozentuale Anteil von AS an der totalen Schlafzeit, der zur 30. Schwangerschaftswoche sogar 80 % beträgt (ROFFWARG 1967), und seine altersabhängige Abnahme lassen den Schluß zu, daß es sich beim AS um eine "primitive" Schlafform handle (PARMELEE 1967).

Vor der 30. Schwangerschaftswoche ist der Schlaf weder typisch für AS noch QS, wie DREYFUS-BRISAC 1968 anhand von Untersuchungen an fünf Frühgeborenen zeigte. Sie spricht von einem atypischen Schlaf. PARMELEE (1972) bezeichnete den aktiven Schlaf als "anarchisches" Stadium und orndet den ruhigen Schlaf höher entwickelten zentralnervösen Strukturen zu.
Diese von der Entwicklung und Reife des Frühgeborenen und Feten abhängige Veränderung des prozentualen Anteils von AS und QS an der totalen Schlafzeit erwähnen auch STERN et al. (1972). Die Autoren fanden, in Übereinstimmung mit oben genannten Autoren, vor der 32. Gestationswoche eine große Variation in der Dauer von AS und QS, bei gleichzeitigem Fehlen einer Periodizität im Auftreten von AS. Ein rhythmisches Verhalten der Schlafstadien kann erst zwischen der 32. und 36. Gestationswoche beobachtet werden.
STERMAN und HOPPENBROUWERS (1971) fanden bei intrauterinen Aktivitätsmessungen beim Feten zwischen der 21. und 39. Woche zwei Zyklen: einen kurzen von 30 - 50 Minuten und einen längeren von 80 - 100 Minuten, der mit der REM-Schlafperiodik der Mutter

übereinstimmte. Somit hat der Fetus bereits einen von der Mutter unabhängigen Schlafzyklus. Bestätigt wurden diese Ergebnisse von ANDERS und ROFFWARG (1972) und RUCKEBUSCH (1972).

Die Periodizität der Schlafstadien ist nach den Untersuchungsergebnissen verschiedener Autoren eine sich mit dem Entwicklungsstand des Kindes ändernde Größe. Mit der Pubertät scheint diese Entwicklung abgeschlossen zu sein (ROFFWARG 1964). Der prozentuale Anteil von AS an TST beträgt jetzt 20 %. Dies entspricht dem Wert des Erwachsenen.
Für den Schlafzyklus des Erwachsenen beobachtet man, nach Untersuchungen von GLOBUS (1970) eine mittlere Periodenlänge von 101,5 ± 2,7 Minuten. Die rhythmische Wiederkehr des aktiven Schlafes ist auch beim Erwachsenen verbunden mit EEG-Veränderungen, schnellen Augenbewegungen und körperlicher Aktivität (DEMENT und KLEITMAN 1957 a). Einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten des REM-Schlafes und Träumen vermuteten ASKERINSKY und KLEITMAN schon 1955. Zehn Erwachsene wurden immer dann während des Schlafes aufgeweckt, wenn das EEG eine REM-Phase anzeigte. Auf Befragen gaben die Probanten genaue Details ihrer Träume an. In einem NREM-Stadium aufgeweckt, war es ihnen nicht möglich, sich an Träume zu erinnern. Zu gleichen Ergebnissen kamen DEMENT und KLEITMAN (1957 b).

Zusammenfassend zeigen die verschiedenen Untersuchungen über den Schlafstadienzyklus, daß eine periodische Gliederung der Schlafstadien nicht erst mit der termingerechten Geburt beginnt, sondern auch beim Feten und Frühgeborenen zu beobachten ist. Die Periodik ist alters- und entwicklungsabhängig und erreicht mit der Pubertät des Kindes den Wert des Erwachsenen mit einer Periodenlänge von 101,5 Minuten.

2.2 BRAC - ein Ruheaktivitätszyklus, der als rhythmische Komponente sowohl im Schlaf wie im Wachzustand vorhanden ist.

Geht man davon aus, daß die während des Schlafes durch entsprechende EEG-Muster leicht zu differenzierenden, hochfrequenten, ultradianen Periodizitäten auch während des Wachzustandes vorhanden sind, so müssen andere Kriterien zu ihrer Identifikation gewählt werden. Neben EEG-Aufzeichnungen sind dies Leistungsänderungen der Testperson, Aktivitätsmessungen und vergleichende Studien an Tieren.

2.2.1 Tierversuche:

Erstmals sprachen KLEITMAN und CAMILLE (1932) von einem "basic-rest-activity cycle" (BRAC). Sie fanden an einem dekortizierten Hund einen Wechsel von Ruhe und Aktivität im Abstand von 90 Minuten.
Einen mit dem Schlafzyklus übereinstimmenden Aktivitätszyklus erhielt STERMAN (1971) bei seinen Untersuchungen an Katzen. Durch Training der Tiere erhielt er für das Nahrungsbegehren ein bestimmtes EEG-Muster. In regelmäßigem Abstand von 20 bis 30 Minuten zeigten die Katzen dieses konditionierte EEG-Muster. Durch fortlaufende Registrierung ergab sich ein kontinuierliches Durchlaufen der Periodik auch während des Schlafes, wobei die konditionierten EEG-Muster mit REM-Stadien zusammenfielen.
Bei seinen Untersuchungen an Rhesusaffen 1970 ordnete KRIPKE dem REM-Stadium von 66 Minuten Dauer eine korrespondierende EMG-Aktivität zu. Beobachtungen dieser EMG-Veränderungen über den Zeitraum von 24 Stunden zeigten einen mit der REM-Stadienperiodik identischen Rhythmus.

2.2.2 Untersuchungen am Menschen:

1922 machte WADA an Erwachsenen Aktivitätsstudien. Er registrierte über einen längeren Zeitraum die grobe Körperaktivität. Die Personen lagen während des Versuchs im Bett. Er fand diskrete Perioden spontaner Aktivität im Abstand von 90 bis 100 Minuten, sowohl tagsüber wie nachts.

Ähnliche Motilitätszyklen beobachteten ASKERINSKY und KLEITMAN 1955) an vierzehn Säuglingen. Anhand der Registrierung von Augen- und Körperbewegungen fanden sie im Abstand von 50 bis 60 Minuten eine gesteigerte Aktivität.

Einen Zusammenhang zwischen REM-Schlaf und dem Aktivitätszyklus vermutete KLEITMAN (1963). In seiner Studie "sleep and wakefulness" spricht er von einem fundamentalen Rhythmus dem "basic-rest-activity cycle". Dieser wirke im Schlaf wie im Wachzustand als Stimulans auf das Zentralnervensystem. REM-Phasen sind seiner Annahme nach nur Ausdruck des Grundrhythmus während des Schlafs.

OTHMER, HAYDEN und SEGELBAUM konnten 1969 an weiblichen Erwachsenen zeigen, daß sicher ein Zusammenhang zwischen Aktivitätszyklus und REM-Stadien besteht. Die Autoren registrierten über 24 Stunden die Augenbewegungen und den Muskeltonus sowie das EEG-Muster der Frauen. Als Ergebnis erhielten sie über den Tag periodisch verteilte Phasen, ähnlich den REM-Stadien, die nahtlos in die REM-Phasen der Nacht übergingen.

Die Existenz eines über 24 Stunden laufenden Grundrhythmus versuchte auch GLOBUS (1976) anhand einer Leistungsstudie an Erwachsenen zu beweisen. Fehlermessungen sowie spezielle Konzentrationstests zeigten

eine gesteigerte Konzentrationsfähigkeit mit geringerer Fehlerzahl, so oft bei kontinuierlich fortlaufendem REM-Rhythmus, auch in den Tag hinein, eine REM-Phase aufgetreten wäre.
Diese Perioden gesteigerter zentralnervöser Aktivität wiederholten sich nach Intervallen von 90 bis 110 Minuten, entsprechend der REM-Periodik während der Nacht.

Aufgrund der oben erwähnten Ergebnisse verschiedener Autoren ist beim Menschen ein ultradianer Aktivitätszyklus vorhanden, der beim Erwachsenen eine Periode von 90 bis 110 Minuten hat. KLEITMAN (1963) bezeichnet ihn als "basic-rest-activity cycle" (BRAC). Während des Schlafs tritt er als REM-Phasen in Erscheinung.

2.3 Zentralnervöse Regulation des Schlafzyklus:

Mit Hilfe des EEG war es möglich, zentralnervöse Aktivitäten zu messen und zu differenzieren. Durch systematische Untersuchungen an Tieren, wie später auch am Menschen konnten so dem Wachzustand und den Schlafstadien bestimmte EEG-Muster zugeordnet werden.

1958 fand DEMENT bei seinen Schlafstudien an Katzen, daß der Übergang von ruhigen in aktiven Schlaf - er bezeichnete diesen Vorgang als "Aktivierung des ZNS" - experimentell durch Stimulation der formatio reticularis ausgelöst werden kann.

Eine "Pacemaker"-Funktion für den aktiven Schlaf schrieb JOUVET (1961) pontinen, retikulären Strukturen zu. Er bezeichnete (1961) den REM-Schlaf (AS) als rhombenzephalischen Schlaf, den ruhigen Schlaf (QS) als telenzephalischen Schlaf mit den Charakteristika

kortikaler Aktivität (synchronisiertes EEG, Spindelaktivität, langsame Wellen hoher Amplitude).

1962 konnten JOUVET und Mitarbeiter anhand ihrer Untersuchungen an einer Katze zeigen, daß nach totaler Entfernung des Cerebellums, wie des Neocortex, der aktive Schlaf des Tieres unverändert blieb, gleich dem des intakten Tieres. Dagegen führte die Läsion des Rostrums zu einem Ausbleiben der REM-Stadien.

Somit sind pontine Strukturen des Hirnstammes für die tonische wie phasische Komponente des aktiven Schlafes zuständig. Dezerebrierung des Tieres hat keine Veränderung des REM-Schlafes zur Folge. Phasen ruhigen Schlafes sind jedoch bei diesen Tieren nicht zu beobachten.

Für das Auftreten von NREM-Phasen ist der Einfluß des Cortex von Bedeutung. Dies bestätigte auch BATSEL (1970) durch seine Untersuchungen an einem Hund, bei dem nach Isolierung des Vorderhirns weiterhin ein dem NREM-Schlaf entsprechendes EEG-Muster registriert werden konnte.

VILLABLANCA (1966) beobachtete an hoch dezerebrierten Tieren eine quantitative Veränderung im Ablauf von Schlaf und Wachzustand, wobei die Kontrolle über Pupillen und Augenaktivität vom Hirnstamm übernommen wurde. Nach Transsektion des Hirnstammes kommt es zu einer Depression des Wachzustandes.

Aufgrund der Tierversuche der oben erwähnten Autoren kann für die Lokalisation der für die Schlafstadien entsprechenden zentralnervösen Strukturen folgendes angenommen werden:

> Pontine retikuläre Strukturen des Hirnstammes sind für das Auftreten von REM-Stadien verantwortlich, während kortikale Einflüsse für den ruhigen Schlaf und den Wachzustand von Bedeutung sind.

Nach JOUVET (1962) findet man beim Menschen analoge Verhältnisse. Anhand von Schlafstudien zu verschiedenen Entwicklungszeitpunkten wurde der Einfluß der einzelnen zentralnervösen Strukturen auf das Verhalten des Menschen analysiert.

Beim Frühgeborenen der 32. Schwangerschaftswoche fehlt eine periodische Gliederung des Schlafzyklus. Dies führt JOUVET (1961) auf die fehlende Interaktion zwischen Cortex (oder Cortex und Thalamus) und Hirnstamm zurück.
Als Resultat der progessiven Reifung des thalamokortikalen Komplexes sieht der Autor die Periodizität im Wechsel von AS-und QS-Phasen, sowie die Dominanz von QS über AS an der totalen Schlafdauer.
Zu gleichen Ergebnissen kam PARMELEE (1967). Er bezeichnete den REM-Schlaf als primitiven Schlaf. Für ihn ist der aktive Schlaf im pontinen Segment der formatio reticularis lokalisiert, der ruhige Schlaf im medullären Anteil. Der zunehmenden Reifung des medullären Segments sowie dem Einfluß kortikaler Stimulation schreibt PARMELEE (1967) die postnatale Differenzierung des ruhigen Schlafstadiums zu.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen ROFFWARG (1966), STERMAN (1972) und STERN (1972).

Die Schlafstadienentwicklung geht somit parallel mit der Reifung entsprechender zentralnervöser Strukturen. Mit Hilfe der EEG-Muster in verschiedenen Entwicklungsabschnitten des Menschen können so Rückschlüsse auf den Reifezustand des ZNS gezogen werden.

In der vorliegenden Untersuchung wird der Versuch unternommen, die von verschiedenen Autoren gemachten Beobachtungen über die Schlafstadien und das Schlaf-Wach-Verhalten an einem gesunden Säugling über den Zeitraum von vier Monaten zu verfolgen. Durch eine vergleichende Betrachtung der endogenen, biologischen Rhythmen sollen eventuell vorliegende Interaktionen dieser chronobiologischer Prozesse aufgezeigt werden und ihre Funktion als Zeitstrukturen der postnatalen Entwicklung analysiert werden.

III. METHODIK

Grundlage der vorliegenden Untersuchung ist eine Langsschnittstudie an einem gesunden, männlichen Säugling. Zur Analyse kam die Daten aus Verhaltensbeobachtungen und polygraphischen Messungen vom Tag der Geburt bis Ende des vierten Lebensmonats.

1. Anamnese:

Für die Mutter des Jungen war es die erste Schwangerschaft. Der Schwangerschaftsverlauf war ohne besondere Ereignisse und wurde durch die üblichen Vorsorgeuntersuchungen kontrolliert. Die Mutter arbeitete bis zum Beginn des Mutterschutzes.
Die Geburt des Kindes erfolgte zum Termin. Die Entbindung verlief komplikationslos. Der Säugling hatte ein Geburtsgewicht von 2840 Gramm bei einer Größe von 50 cm. Das Neugeborene war lebensfrisch und erfüllte nach APGAR alle zehn Kriterien. Die postnatale Untersuchung durch einen Kinderarzt zeigte anhand der Reifezeichen ein ausgereiftes, gesundes Kind. Die neurologische wie körperliche Entwicklung des Säuglings wurde auch nach dem Klinikaufenthalt durch regelmäßige Vorsorgeuntersuchungen kontrolliert. Die Untersuchungsergebnisse zeigten eine altersentsprechende Entwicklung bei einem gesunden Kind.

2. Pflegemaßnahmen:

Voraussetzung bei Untersuchungen biologischer Rhythmen ist, daß das spontane Verhalten des Probanten gesichert wird. Somit mußten wir den von uns untersuchten Säugling vom Routinebetrieb der Klinik isolieren. Die Klinik stellte der Studiengruppe für den zehn-tägigen Klinikaufenthalt einen separaten Raum zur Verfügung. Das Kind konnte so von der Mutter und Mitgliedern der

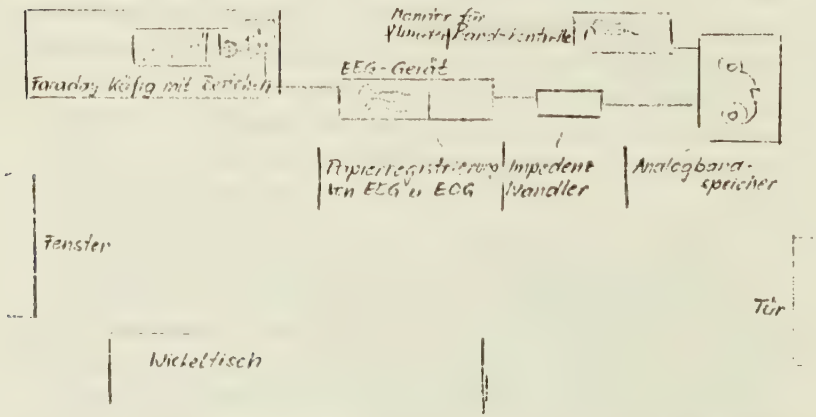
Studiengruppe nach den Kriterien des "self-demand-feeding" gepflegt werden, das heißt, es wurde keinem festen Tagesplan unterworfen. Die Verhaltenskriterien für das Nahrungsbegehren entnahmen wir Studien von GESELL (1943) und MORATH (1974). Da die Mutter das Kind selbst füttern und pflegen konnte, war auch für ausreichenden Kontakt zwischen Mutter und Kind gesorgt.

Nach Beendigung des Klinikaufenthaltes wurde im Hause der Eltern die Studie nach oben aufgeführtem Schema fortgeführt.

3. Verhaltensbeobachtungen und polygraphische Messungen:

Begonnen wurde mit der Studie sieben Stunden nach der Geburt. Von diesem Zeitpunkt bis zur Beendigung des Klinikaufenthaltes nach zehn Tagen wurde das Neugeborene Tag und Nacht von Mitgliedern einer 4-köpfigen Studiengruppe beobachtet. Das Verhalten des Säuglings wurde kontinuierlich protokolliert und die gewonnenen Daten auf Verhaltensbögen übertragen. Diese wurden ähnlich den "behaviour-day carts" von GESELL (1943) angelegt. Registriert wurden außer dem Beginn und Ende der Schlaf- und Wachphasen Nahrungsbegehren, Fütterungszeiten sowie andere für das Verhalten des Kindes relevante Ereignisse (z. B. Lärm von außen, Störung durch die Manipulation am Kopf beim Anlegen der Elektroden usw.). Zur genauen Registrierung der Schlafstadien und ihrer Entwicklung waren polygraphische Messungen notwendig. Wir begannen mit den EEG-Ableitungen ebenfalls sieben Stunden nach der Geburt. Unterbrochen wurde die polygraphische Untersuchung während des Wachzustandes des Säuglings. Beobachteten wir Anzeichen von Schläfrigkeit, wurde mit der Registrierung des EEG-Musters fortgesetzt. Für die polygraphischen Messungen und die Speicherung der Daten wählten wir folgende Versuchsanordnung:

Das Kind schlief in einem normalen Klinikbettchen mit dem Köpfchen vom Fenster abgewendet. Um elektromagnetische Störfaktoren von außen zu eliminieren, stand das Bettchen in einem Faraday'schen Käfig. Zur Ableitung wurden Plättchenelektroden verwendet, die mit Kollodium auf die Kopfhaut des Kindes geklebt wurden. War das Kind wach, wurden sie entfernt, damit der Säugling sich ungehindert bewegen konnte.
Zur Ableitung kamen das zentrale EEG der rechten Hemisphäre (C_4 - A_1) in Verbindung mit dem EOG für die Augenbewegungen. Im Verlauf der Studie wurden oftmals auch andere EEG-Kanäle benützt, die jedoch nicht in die Auswertung einbezogen wurden.
Als Nullpunkt der unipolaren Ableitung wurde das linke Mastoid gewählt.
Die zentralnervöse Aktivität wurde mittels eines EEG-Gerätes registriert und auf Papierbögen laufend aufgezeichnet. Die Daten liefen dann über einen Impedenzwandler in einen Analogspeicher, wo die Daten auf elektromagnetischen Bändern gespeichert warden konnten. Als Kontrollgerät für die Bandspeicherung benutzten wir einen Monitor.



Nach dem obig erläuterten Modus wurden die Verhaltensbeobachtungen und polygraphischen Untersuchungen bis zum Ende des Klinikaufenthaltes durchgeführt. Nach der Über-

siedlung des Kindes in das Heim der Eltern wurden bis zur fünften Lebenswoche keine EEG-Aufzeichnungen gemacht. Weitere Unterbrechnungen folgten zwischen der achten und elften und dreizehnten und sechzehnten Woche.
Dagegen wurden die Verhaltensbeobachtungen kontinuierlich fortgeführt. Auch im Heim der Eltern wurde das Kind nach "self-demand-schedule" gepflegt. Die Protokollierung des spontanen Schlaf-Wachverhaltens wurde nach dem Modus von GESELL (1943) weitergeführt. Zusätzlich wurden jetzt auch Entwicklungsschritte wie Lächeln, gezielte Bewegungen oder erste Lautgebungen in die Verhaltensbögen aufgenommen. Für die polygraphischen Untersuchungen wurde im Heim der Eltern eine der Klinik entsprechende Anordnung getroffen. Somit hatten sich die äußeren Untersuchungsbedingungen nur unwesentlich verändert.

4. Registrierung:

4.1 Schlaf-Wachverhalten:

Grundlage für die Untersuchung des Schlaf-Wachverhaltens des Säuglings waren die Verhaltensbeobachtungen. Von den Mitgliedern der Studiengruppe und der Mutter wurde das Schlaf-Wachverhalten des Kindes fortlaufend vom Tag der Geburt bis zum vierten Lebensmonat protokolliert.

Die Daten wurden von den Verhaltensbögen auf eine Zeitkarte übertragen (Abb. 1 b). Dabei wurde als Zeiteinheit für ein Beobachtungsintervall zehn Minuten gewählt. Die Zeitachse, unterteilt in zehn Minuten-Intervalle, ging von Null bis 24 Uhr. Jede Zeile der Zeitkarte zeigte so die tageszeitliche Verteilung der Schlaf- und Wachphasen des Säuglings.

Zur besseren Darstellung wurden die Schlafstadien durch schwarze Balken gekennzeichnet, Wachzustände durch entsprechende Lücken. Somit konnte die Schlaf-Wachstadienverteilung über den Tag, wie auch die Entwicklung des Schlaf-Wachverhaltens bis zum vierten Lebensmonat besser beurteilt werden.

4.2 Schlafstadienzyklus:

Zur Analyse der Schlafstadien bedienten wir uns der polygraphischen Registrierung über das EEG/EOG. Diese Messungen wurden während der ersten zwei, der fünften, elften und sechzehnten Lebenswoche durchgeführt. Nach den Kriterien von DEMENT und KLEITMAN (1957) unterteilten wir die Schlafabschnitte in REM- und NREM-Stadien. Beginn und Dauer der einzelnen Schlafphasen wurden in eine Zeitkarte übertragen. Als Zeiteinheit wählten wir auf Grund der kurzen Dauer der Schlafstadien für ein Beobachtungsintervall fünf Minuten. Zur besseren Darstellung wurden REM-Phasen durch schwarze, NREM-Phasen durch leere Kästchen gekennzeichnet. Abb. 1 a zeigt die entsprechende Zeitkarte für die Verteilung der REM- und NREM-Stadien während des Schlafes des Säuglings.

Die zur Auswertung der Daten notwendigen Rechenoperationen und ihre graphische Darstellung wurden mit Hilfe einer EDV-Anlage durchgeführt. Dazu wurden die protokollierten Daten über das Schlaf-Wachverhalten wie die Auswertungsergebnisse der polygraphischen Messungen auf Lochkarten übertragen.

IV. ERGEBNISSE

1. Periodische Strukturen im Schlaf-Wachverhalten

Die aus den Protokollaufzeichnungen gewonnene Zeitkarte (Abb. 1 b) diente als Grundlage für die Analyse des Schlaf-Wachverhaltens des Säuglings.

1.1 Auswertungsmodus:

Die schraffierte Fläche in der Zeitkarte wird von weißen Straßen durchzogen, die den Kumulationszonen von Wachphasen entsprechen.
Betrachtet man mehrere Tage, so hat es den Anschein, als träten die Wachphasen zu bestimmten tageszeitlichen Abschnitten bevorzugt auf. Um diese subjektive Beobachtung durch eine quantifizierende Darstellung zu beweisen, wurde folgender Auswertungsmodus gewählt:

Auf die Zeitkarte wurde ein Testfenster gelegt (Abb. 1 b), das mit seinem äußeren Rand je fünf aufeinanderfolgende Tage in einer Breite von zwei Stunden der Tageszeit einschließt. Innerhalb dieses Rahmens wurde die Anzahl der Wachzustände des Säuglings in Einheiten zu je zehn Minuten ausgezählt. Aus diesen Zählraten wurde die mittlere Häufigkeit des Wachzustandes berechnet und so, bezogen auf die Fläche des Testfeldes, ein Dichtemaß für das Auftreten von Wachzuständen gewonnen. Innerhalb der weißen Innenflächen des Testfensters wurde die Anzahl der Zehnminuteneinheiten mit dem Faktor 1 gewichtet. Da den entsprechenden Zählraten aus der schraffierten Umrandung bei der Mitteilung ein geringeres Gewicht zukommt, wurde die Anzahl der Wachzustände innerhalb dieses Bereiches mit dem Faktor 0,5 gewichtet.

Die Ausmaße des Testfensters wurden so gewählt, daß Häufigkeitsschwankungen im Auftreten des Wachzustandes von weniger als zwei Stunden ausgemittelt wurden, d. h. wie statistisches Rauschen behandelt wurden. Andererseits wurden jedoch ultradiane Schwankungen von einer Periodenlänge größer als zwei Stunden bei der quantifizierenden Darstellung voll berücksichtigt.

Bewegt sich das Testfenster horizontal mit der Tageszeit, so ändert sich mit seinem Standpunkt auf der Zeitkarte auch die mittlere Häufigkeit des Wachzustandes. Diese Schwankungen lassen sich als Funktion der Tageszeit darstellen. Durch Fortsetzung dieser zeilenweisen Mittelwertbildung von fünf benachbarten Tagen vertikal auf der Zeitkarte um je eine Zeile (entsprechend einem weiteren Tag), so erhält man eine Dichteverteilung des Wachzustandes (Abb. 2 a). Die dargestellte Dichtefunktion für das Auftreten von Wachzuständen nimmt Werte zwischen Null und Eins an.
Bezogen auf das Schlaf-Wachverhalten des Säuglings bedeutet dies, daß bei Funktionswerten von nahezu Eins das Kind mit großer Wahrscheinlichkeit wach war. Sinkt die Dichtefunktion jedoch auf Null, so schlief das Kind.
Für die Maxima der Dichtefunktion gilt entsprechend dem Auswertungsmodus mit Hilfe des Testfensters folgendes:

Ausgehend von einem Tag n wird die Häufigkeit der Wachphasen von n + 4 Tagen in Zeitabschnitten von zwei Stunden betrachtet. War das Kind in diesen 2 Stunden nicht nur am Tag n wach, sondern auch an vier darauffolgenden Tagen, so zeigt die Dichtefunktion ein Maximum. Ähnliches gilt für die Schlafphasen, die durch entsprechende Minima gekennzeichnet werden.

Werden nun korrespondierende Maxima der Dichtefunktion aufeinanderfolgender Tage verbunden, erhält man "Gratlinien", die, im Vergleich mit der Zeitkarte (Abb. 1 b), den Kumulationszonen des Wachzustandes entsprechen.

1.2 Analyse der Dichteverteilung der Wachphasen:

Betrachtet man die Zeitkarte, so erkennt man eine gewisse Veränderung des Bildes während der ersten vier Lebensmonate. Deutlicher spiegelt sich dies in der Dichteverteilung für das Auftreten von Wachphasen wieder (Abb. 2 a). Diese Entwicklung läßt sich in drei Abschnitte unterteilen:

1. Entwicklungsabschnitt (erste bis vierte Lebenswoche)
Die Abstände zwischen den einzelnen Maxima der Dichtefunktion aufeinanderfolgender Tage, gekennzeichnet durch die Gratlinien, sind in etwa gleich groß. Für das Auftreten von Wachphasen zeigt sich in Abhängigkeit zur Tageszeit mehr ein periodisches Verhalten denn eine zufallsbedingte Verteilung.

Betrachtet man den Zeitraum zwischen Null und 24 Uhr auf dem Diagramm, so bietet sich zur Tages- wie Nachtzeit ein einheitliches Bild. Im Abstand von vier Stunden erreicht die Dichtefunktion jeweils ein Maximum. Innerhalb von 24 Stunden erhält man so sechs Perioden von je vier Stunden, wobei drei Perioden auf die Nacht (18 bis 6 Uhr) und drei auf den Tag (6 bis 18 Uhr) entfallen. Als Periode wird dabei der Zeitabschnitt von einem Maximum der Dichtefunktion über ein Minimum zum nächsten Maximum bezeichnet.
Da das Neugeborene unserer Studie frei von äußeren Zwängen nach dem "self-demand-feeding" gepflegt wurde, sprechen diese Ergebnisse für einen spontanen Schlaf-Wachrhythmus mit einer durchschnittlichen Periode von vier Stunden.

2. Entwicklungsabschnitt: (fünfte bis elfte Lebenswoche)

In diesem Entwicklungsabschnitt zeigt sich eine Veränderung im Verteilungsdiagramm der Wachphasen, die im Vergleich zwischen Tag und Nacht gut zu erkennen ist. Während im Zeitabschnitt von 6 bis 18 Uhr die Dichtefunktion wie im ersten Abschnitt drei Perioden von je vier Stunden mit entsprechenden Maxima für die Häufung von Wachphasen zeigt, finden sich im nächtlichen Zeitraum von 18 bis 6 Uhr nur mehr zwei Maxima. In der nächtlichen Halbphase verlängern sich die Perioden, die Intervalle zwischen den Wachphasen werden größer. Das Kind beginnt durchzuschlafen, die Schlafphasen werden damit länger. Dies kommt, im Vergleich zum ersten Entwicklungsabschnitt, im Fortfall einer nächtlichen Gratlinie zum Ausdruck.

3. Entwicklungsabschnitt: (ab der zwölften Lebenswoche)

Wiederum ist während der Tageszeit kaum eine Änderung im Verteilungsbild der Gratlinien und somit im Schlaf-Wachverhalten des Neugeborenen zu erkennen. Es besteht auch in diesem Entwicklungsabschnitt ein periodischer Wechsel der Häufungsphasen des Wachzustandes von vier Stunden im Zeitraum zwischen 6 bis 18 Uhr.

Nachts hingegen kommt es nicht mehr zu diesen periodischen Schwankungen. Der nächtliche Kumulationsstreifen bricht ab, da das Kind zu diesem Zeitpunkt meist durchschläft.

1.3 Zusammenfassende Betrachtung:

Zeigte das Kind während des ersten Entwicklungsabschnittes einen ultradianen Vier-Stundenzyklus (übereinstimmend mit den Untersuchungen von GESELL 1943),

so wird nach der zwölften Woche mehr und mehr ein circadianer Rhythmus im Bild der Dichtefunktionen sichtbar.
Zusammenfassend spiegelt diese Entwicklung der Organisation der Schlaf-Wachphasen ein Zusammenwirken zweier Periodizitäten wider:

> ein u l t r a d i a n e r Zyklus während der ersten vier Lebenswochen, der ab dem zweiten Lebensmonat zunehmend durch einen c i r c a - d i a n e n Rhythmus beeinflußt wird.

Dabei wird während der nächtlichen Halbphase der circadianen Periodik die Zeitspanne zwischen zwei Wachphasen so verlängert, daß sie sich schließlich über die Dauer einer ganzen Nacht erstreckt. Dieses Übergangsstadium wird deutlich während des zweiten Entwicklungsabschnittes, durch das Wegfallen einer Gratlinie im nächtlichen Zeitraum zwischen 18 bis 6 Uhr.
Im Gegensatz zu den Beobachtungen für die Nacht wird der ultradiane Rhythmus während des Tages nur gering von der circadianen Periodik moduliert. Im Zeitraum von 6 bis 18 Uhr behält der Säugling in jedem Entwicklungsabschnitt die ultradiane Vier-Stundenperiodik bei.
Ultradianer und circadianer Rhythmus sind demnach nicht zwei voneinander unabhängige, endogene Prozesse. Sie scheinen über einen Mechanismus der Frequenzmodulation aneinander gekoppelt zu sein.

2. Erstes Lächeln und Entwicklung der EEG-Spindeln:

2.1 Erstes Lächeln:

Neben dem Schlaf-Wachverhalten wurden auch sichtbare Entwicklungsschritte des Kindes protokolliert.

Das erste Lächeln, und damit der beginnende soziale Kontakt des Säuglings, ist in den ersten Lebenswochen der für die Umwelt wohl sichtbarste Schritt im Reifungsprozess des Kindes.
Der von uns untersuchte Säugling reagierte gegen Ende des ersten Lebensmonats auf Ansprechen durch ihm vertrauter Personen mit Lächeln und glucksender Laute. Nach Untersuchungen von SÖDERLING (1959) tritt das erste Lächeln bei der Mehrzahl der von ihm untersuchten Kinder in der vierten Lebenswoche auf (Abb. 2 b). Demnach decken sich unsere Beobachtungen mit den Untersuchungsergebnissen von SÖDERLING (1959). Das Auftreten des "sozialen Lächelns" ist, wie andere Entwicklungsschritte auch, Ausdruck der neurologischen Reifung des Gehirns. Das Einsetzen einer tageszeitlichen, circadianen Gliederung des Schlaf-Wachverhaltens ebenfalls gegen Ende der vierten Lebenswoche, muß somit in Beziehung zur ZNS-Reifung gesehen werden.

2.2 Entwicklung der EEG-Spindeln:

Mit der Reifung des Säuglings ändert sich das EEG-Bild. Das EEG des gesunden, zum Termin geborenen Säuglings zeigt bis etwa zur vierten Lebenswoche während der NREM-Phasen Perioden schneller, hochamplitudiger Aktivität. Dieses EEG-Muster wird als "tracé alternant" bezeichnet (DITTRICHOVA 1969). Bei Frühgeborenen beobachtete PARMELEE (1969) ein Persistieren der "tracé alternant" über die vierte Lebenswoche hinaus. Er deutet dieses Verhalten mit der relativen Unreife dieser Kinder. Um die fünfte Lebenswoche erscheinen, nach einem Übergangsstadium mit langsamen, unregelmäßigen Wellen, anstelle der "tracé alternant" Schlafspindeln (ELLINGSON 1972, DITTRICHOVA 1969). METCALF (1970) unterschied bei seinen Untersuchungen über die Ent-

wicklung der Schlafspindeln Präspindeln, Spindeln ersten und zweiten Grades. Nach seiner Definition zeigen Präspindeln einen Aktivitätsburst von ein bis zwei Sekunden, während Spindeln zweiten Grades über einen längeren Zeitraum zu beobachten sind.
Anhand eines Diagramms (Abb. 2 b) wird die Entwicklung der EEG-Spindeln des von uns untersuchten Kindes gezeigt. Nach den oben erläuterten Kriterien von METCALF (1970) wurden bei der Auswertung der polygraphischen Aufzeichnungen Präspindeln, sowie Spindeln ersten und zweiten Grades unterschieden. Durch Auszählen der Spindeln des Zentralen EEG-Kanals konnte ein Spindelindex bestimmt werden.
Bezogen auf die Gesamtdauer des NREM-Schlafes eines Tages, ergab die Anzahl der Spindeln eines Typs für diesen Tag einen Aktivitätsindex, der die mittlere Anazhl von EEG-Spindeln pro Stunde des NREM-Schlafes angibt.
In Abb. 2 b sind die Aktivitätsindizes der einzelnen Spindeltypen, bezogen auf die Lebenstage, aufgetragen. Die Zunahme des Gesamtindex der Spindelaktivität stellt sich näherungsweise als Gerade dar. Wie das Diagramm zeigt, wurde innerhalb der fünften Lebenswoche eine erste geringe Aktivität von Präspindeln beobachtet, während vor diesem Zeitpunkt keine Spindeln zu erkennen waren. Spindeln ersten und zweiten Grades findet man ab der achten bis zehnten Lebenswoche. Die von uns gewonnenen Untersuchungsergebnisse decken sich somit mit den Angaben von METCALF (1970).
Auch bei der Entwicklung der EEG-Spindeln ist somit die fünfte Lebenswoche von entscheidender Bedeutung.

3. Zeitliche Beziehung zwischen REM-Stadien und Wachphasen:

Neben dem ultradianen und circadianen Schlaf-Wachrhythmus kann beim Säugling ein Aktivitätszyklus be-

obachtet werden, der sowohl im Schlaf wie im Wachzustand das Verhalten des Kindes beeinflußt. (ASKERINSKY und KLEITMAN 1955). Dieser ultradiane Aktivitätszyklus ist hochfrequenter als der Schlaf-Wachrhythmus, und wurde von KLEITMAN (1963) als "basic-rest-activity cycle" bezeichnet. Nach Untersuchungen verschiedener Autoren besteht ein Zusammenhang zwischen REM-Schlaf und BRAC, wobei die periodisch auftretenden REM-Phasen dem Ruheaktivitätszyklus entsprechen.
Sollte es zwischen den rhythmischen Komponenten des Schlaf-Wachmusters und dem Ruheaktivitätszyklus Interaktionen geben, so müßte zwischen dem Auftreten von REM-Stadien und Wachphasen eine gesetzmäßige Beziehung vorliegen. Für die vergleichende Darstellung wurde die zeitliche Verteilung der REM-Stadien (Abb. 1 a) bezogen auf die beschriebene Entwicklung des Schlaf-Wachverhaltens statistisch analysiert. Ermittelt wurden die REM-Stadien während der Schlafenszeit des Säuglings aus den polygraphischen Aufzeichnungen. Auf eine Zeitkarte übertragen, ähnlich dem Vorgehen bei der Auswertung des Schlaf-Wachverhaltens, zeigt sich ein Bild wie in Abb. 1 a. Schwarze Linien kennzeichnen Schlafstadien, die aufgesetzten schwarzen Kästchen REM-Stadien. Die Phasen in denen das Kind wach war, werden durch Lücken angezeigt. Auf Grund der tageszeitlichen Unterschiede wurden die Zeitbereiche zwischen 6 bis 18 Uhr und 18 bis 6 Uhr getrennt ausgewertet.

3.1 Auswertungsmodus:

Um beurteilen zu können, ob zwischen dem Auftreten von REM-Stadien und Wachphasen eine zeitliche Beziehung existiert, wählten wir als Nullpunkt einer Zeitskala jeweils den Zeitpunkt des Erwachens. Ausgehend von diesem Nullpunkt war eine statistische Analyse der zeitlichen Sequenz von REM-Stadien und Wachphasen möglich.

Durch Auszählen der REM-Stadien vor und nach dem Zeitpunkt des Erwachens erhält man Profildiagramme, die die Häufigkeitsverteilung der REM-Phasen vor und nach dem Erwachen widerspiegeln.
In ähnlicher Weise wurden Profildiagramme für die Häufigkeitsverteilung des Wachzustandes für die Zeit nach dem Erwachen erstellt.
Grundlage für die Analyse sind die polygraphisch ermittelten Verteilungsmuster der REM-Stadien, sowie die Protokollaufzeichnungen über das Schlaf-Wachverhalten verschiedener Lebenswochen.

3.2 Analyse der Profildiagramme
Erste und zweite Lebenswoche:

Nach der oben erwähnten Methode wurden aus den Daten der ersten Lebenswochen die Diagramme in Abb. 3 erstellt. Zur besseren Darstellung wurden die Ergebnisse für den Zeitraum von 6 bis 18 Uhr (Abb. 3 a) und den nächtlichen Zeitbereich von 18 bis 6 Uhr (Abb. 3 b) getrennt analysiert. Ausgehend vom Zeitpunkt des Erwachens zeigen die schwarzen Profildiagramme die Häufigkeitsverteilung der REM-Schlafstadien vor und nach dem Erwachen.
Die Analyse der Zeitskala vor dem Erwachen zeigt eine Häufung von REM-Stadien in Abständen von 150, 100 und 50 Minuten vor dem Nullpunkt, dem Zeitpunkt des Erwachens. Diese periodische Häufigkeitsverteilung des REM-Schlafes spricht für eine Phasenbezeichnung zwischen dem Vorgang des Erwachens und dem Ruheaktivitätszyklus des Neugeborenen, der eine Periodik von 50 Minuten erkennen läßt.
Ebenso zeigt die Verteilung der Häufigkeitsgipfel der REM-Schlafphasen nach dem Zeitpunkt des Erwachens eine periodische Gliederung von 50 Minuten. Für die

einer Wachphase folgenden REM-Stadien läßt sich also ebenfalls eine zeitliche Beziehung zum Zeitpunkt des Erwachens herstellen. Das rhythmische Auftreten von REM-Phasen mit einer Periode von 50 Minuten, sowohl vor wie nach dem Zeitpunkt des Erwachens scheint für einen kontinuierlich durchlaufenden Zyklus zu sprechen. Veranschaulicht wird dies durch einen sinusförmigen Modellzyklus. Durch Variation der Perioden- und Phasenlänge wurden die Sinuskurven solange moduliert, bis ihre Maxima mit den Häufigkeitsgipfeln des schwarzen Profildiagramms übereinstimmten. In diesem Sinne weisen die Sinuskurven die beste mathematische Übereinstimmung (Kohärenz) mit der Periodizität der Verteilungsprofile des REM-Schlafes auf.
Werden diese mathematisch erstellten Sinuskurven gleich einer Schablone auf das Profildiagramm gelegt, so zeigt sich eine kontinuierliche Fortsetzung der REM-Stadienperiodik von 50 Minuten auch während der Wachphasen. Die Deckungsgleichheit bleibt auch nach dem Erwachen bestehen. Damit stimmen unsere Untersuchungsergebnisse mit den Ergebnissen von KLEITMAN (1963) überein, der von einem durchlaufenden Aktivitätszyklus, auch während des Wachzustandes, spricht. Durch den sinusförmigen Modellzyklus wird neben der periodischen Gliederung des REM-Schlafes auch eine Phasenbeziehung des Zeitpunktes des Aufwachens zum Grundrhythmus deutlich. Das Kind erwacht überwiegend im ansteigenden Verlauf der Sinuskurve, das heißt, zu einem Zeitpunkt, wo sich nach einer NREM-Phase wieder eine REM-Phase angeschlossen hätte, wäre das Kind nicht erwacht.

Dagegen zeigen die weißen Profildiagramme der Abb. 3 die Häufigkeitsverteilung der Wachzustände nach Zeitpunkt des Erwachens.

Die Daten wurden aus der Zeitkarte (Abb. 1 b) für das Auftreten von Wachphasen ermittelt. Die Profildiagramme zeigen jeweils im Abstand von vier Stunden ein Maximum. Zu diesem Zeitpunkt ist die Wahrscheinlichkeit, das Kind wach zu finden, am größten.

Kurz nach dem Erwachen findet man das Kind naturgemäß eher in einem Wachzustand als in einigem Abstand davon. So häufen sich demgemäß in diesem Zeitraum die Phasen des Wachzustandes. Wie das Verteilungsmuster zeigt, sinkt das Maß der Häufigkeit des Wachzustandes mit dem Abstand vom Nullpunkt, wobei zwei bis drei Stunden nach dem Erwachen ein Minimum durchlaufen wird. Das Kind schlief zu diesem Zeitpunkt meist wieder. Im Abstand von vier bis fünf Stunden nach dem Erwachen steigt die Verteilungskurve dann wieder zu einem relativen Maximum an. Dies wiederholt sich jeweils in einem Abstand von 4 Stunden. Die periodischen Schwankungen in der Verteilungskurve sind Ausdruck des ultradianen Vier-Stundenrhythmus, der in diesem Entwicklungsabschnitt dominierend ist.

Im Vergleich der beiden Profildiagramme wird verständlich, weshalb die Verteilungsprofile des REM-Stadiums vor dem Zeitpunkt des Erwachens mit Abstand vom Nullpunkt an Höhe abnehmen. Die Wahrscheinlichkeit, das Kind zu einem Zeitpunkt von mehr als 150 Minuten vor dem Erwachen schlafend zu finden, ist gemäß der Verteilungskurve für den Wachzustand gering. Zu diesem Zeitpunkt war das Kind schon wieder in einer Wachphase; so konnten in diesem zeitlichen Abstand keine REM-Epochen gemessen werden.
Ferner ist zu erkennen, weshalb sich die REM-Stadien bevorzugt in der Zeit zwischen zwei und sechs Stunden nach dem Erwachen häufen. In diesem Zeitraum sinkt

die Profilkurve des Wachzustandes auf ein Minimum, das Kind befindet sich in einer Schlafphase.

Anhand des sinusförmigen Modellzyklus wurde eine Beziehung zwischen dem Zeitpunkt des Aufwachens und dem Ruhe-Aktivitätszyklus deutlich. Ähnlich scheint auch der Vorgang des Einschlafens, damit die Dauer der einzelnen Wachphasen, in zeitlicher Abhängigkeit zum KLEITMAN'schen Grundzyklus zu stehen. Die Zeitkarte des Schlaf-Wachverhaltens (Abb. 1 b) enthält kurze und lange Wachphasen. Zählt man die Wachphasen entsprechend ihrer Dauer aus, so erhält man die Verteilungsdiagramme für die bevorzugten Längen der Wachphasen (Abb. 3 a, b). Für den Tag zeigt das Verteilungsdiagramm zwei Maxima:

das erste Maximum im Zeitraum von 10 bis 20 Minuten
das zweite Maximum nach 60 bis 70 Minuten.

Dies bedeutet, daß tagsüber gehäuft Wachphasen von 10 bis 20 Minuten und 60 bis 70 Minuten Dauer auftreten. Eingeschlafen ist das Kind bevorzugt 10 bis 20 Minuten oder 60 bis 70 Minuten nach dem Erwachen.
Überträgt man den Zeitpunkt des Einschlafens auf den sinusförmigen Modellzyklus für die REM-Stadienverteilung, so schlief das Kind bevorzugt im absteigenden Teil der Sinuskurve ein, zu einem Zeitpunkt also, wo einer REM-Phase eine NREM-Phase folgte.
Somit zeigt sich auch für den Zeitpunkt des Einschlafens und damit für die Dauer der Wachphasen eine zeitliche Beziehung zum Ruheaktivitätszyklus.

Für die nächtliche Halbphase konnte für die Länge der Wachphasen die zeitliche Beziehung zum 50 Minutenzyklus nicht beobachtet werden.

Fünfte und elfte Lebenswoche:

Analog der Untersuchungen für die ersten beiden Lebenswochen wurden die Daten für die fünfte und elfte Lebenswoche den Protokollen für die Verteilung der REM-Schlafstadien und Wachphasen (Abb. 1 a, 1 b) entnommen. In Abb. 4 und Abb. 5 wird die zeitliche Beziehung zwischen Grundzyklus und Wachphasen, sowie Dauer des Wachzustandes anhand der im ersten Abschnitt für Abb. 3 a, 3 b ausführlich erläuterten Profildiagramme dargestellt.

Die polygraphischen Untersuchungen während der 16. Lebenswoche waren zeitlich zu kurz, um eindeutige Resultate bringen zu können. Die Ergebnisse wurden deshalb in die Studie nicht aufgenommen.

In Abb. 4 zeigen die Profildiagramme für Tag und Nacht (Abb. 4a, 4 b) deutliche Unterschiede. Während für die ersten zwei Lebenswochen (Abb. 3 a, 3 b) die Diagramme für Tag und Nacht beinahe deckungsgleich erscheinen, machen sich ab der fünften Lebenswoche die beobachteten Tag- und Nachtunterschiede im Schlaf-Wachverhalten (Abb. 2 a) bemerkbar. Während untertags wie im ersten Entwicklungsabschnitt (Abb. 3 a) eine nahezu Vier-Stundenperiodik für die Häufung der Wachzustände nach dem Zeitpunkt des Erwachens (Abb. 4 a) bestehen bleibt, werden die Intervalle zwischen den einzelnen Wachphasen während der Nacht auf acht bis neun Stunden verlängert. In dieser Zeit schläft das Kind überwiegend, das Profildiagramm durchläuft ein Minimum.

Dieses Ergebnis deckt sich mit den Beobachtungen für das Schlaf-Wachverhalten (Abb. 2), wobei ab der fünften Lebenswoche durch den Ausfall einer nächtlichen Wachphase die Schlafphasen verlängert werden.

Auch in Abb. 5 werden ähnliche Tag- und Nachunterschiede in den entsprechenden Verteilungsdiagrammen des Wachzustandes beobachtet. Grundlage für die Analyse war das Datenmaterial aus den polygraphischen Untersuchungen der elften Lebenswoche.
Die Diagramme aus Abb. 4 und Abb. 5 zeigen die zeitliche Beziehung zwischen REM-Stadien und Wachphasen, wie sie auch für die ersten beiden Lebenswochen beschrieben wurde. Durch den sinusförmigen Modellzyklus wird auch für den zweiten und dritten Entwicklungsabschnitt die periodische Gliederung der Häufung der REM-Stadien vor und nach dem Zeitpunkt des Erwachens deutlich. Wie im ersten Entwicklungsabschnitt läßt sich eine 50 bis 60 Minutenperiodik, entsprechend dem "basic-rest-activity cycle" (KLEITMAN 1969), erkennen.

Die Profildiagramme für die REM-Stadienverteilung während der Nacht reichen über 150 Minuten hinaus, entsprechend der verlängerten Schlafperioden in diesem Entwicklungsabschnitt. Damit wurde auch die Wahrscheinlichkeit, in einem Abstand von mehr als drei Stunden nach dem Zeitpunkt des Erwachens nach REM-Stadien zu messen, größer.

Auch ergaben sich aufgrund des ausgewerteten Datenmaterials für die Dauer der Wachphasen bevorzugte Längen, die wie in Abb. 3 mit dem Ruhe-Aktivitätszyklus in Verbindung gebracht werden können. Bevorzugte Zeitpunkte des Einschlafens scheinen vorzuliegen so oft der kontinuierlich fortlaufende Grundzyklus von 50 bis 60 Minuten in eine Halbphase übergeht, die dem NREM-Schlaf entspricht, das heißt, in einer absteigenden Sinusschingung.

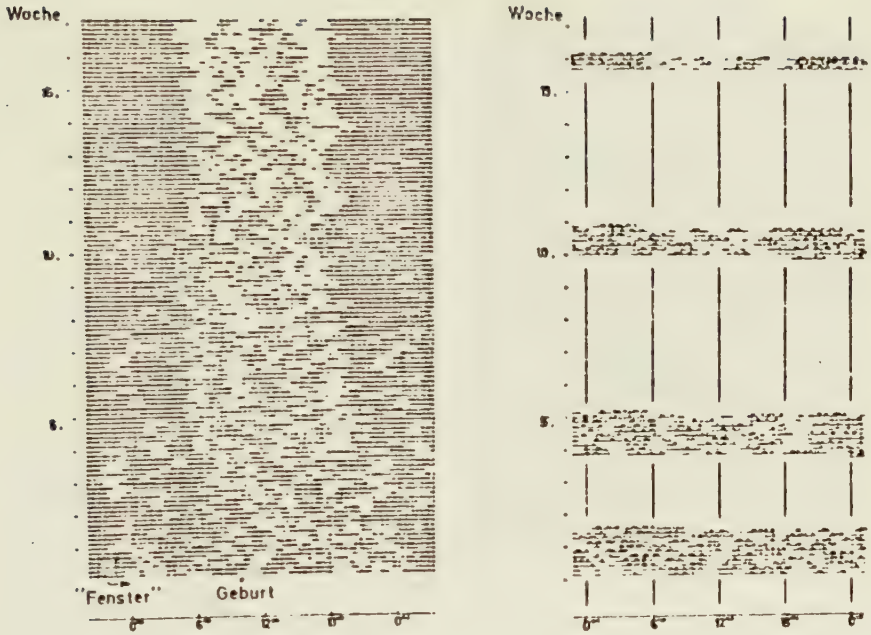


Abb. 1: Zeitkarten des Schlaf-Wach-Verhaltens im Lauf der ersten vier Lebensmonate

a) Polygraphisch bestimmte Unterteilung der Schlafphasen (schwarze Striche) in REM- und NREM-Stadien. Schwarze Kästchen innerhalb der Schlafabschnitte repräsentieren die vermessenen REM-Stadien.

b) Zeitliche Verteilung der Schlaf- und Wachphasen. Jede Zeile entspricht einem Tag. Die Schlafabschnitte sind durch schwarze Balken, die Wachphasen durch weiße Lücken dargestellt. Beachte die Kumulationszonen der Wachphasen. Die "Dichte der Wachphasen kann mit Hilfe eines gleitenden Testfensters ausgezählt werden.

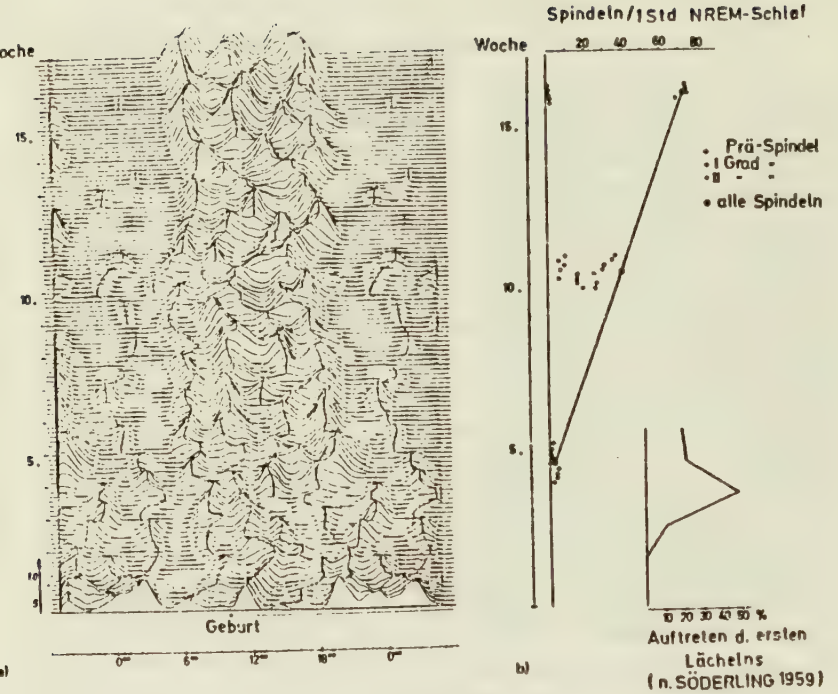


Abb. 2:

a) Dichteverteilung der Wachphasen für die ersten 4 Lebensmonten. Kumulationszonen von Wachphasen bilden sich in entsprechenden Erhebungen der Dichtefunktion ab, die sich nach Art und Gratlinien miteinander verbinden lassen. Die Gratlinien bezeichnen jene Zeitabschnitte, in denen das Kind am häufigsten wach war.

b) Zunahme der EEG-Spindeln während des NREM-Schlafes und Häufigkeitsverteilung für das Auftreten des ersten Lächeln (nach SÖDERLING). Beachte das Einsetzen der Spindelaktivität und des ersten Lächelns um die 4. und 5. Lebenswoche. Nach dieser Zeit werden erste Tag-Nachunterschiede im Schlaf-Wach-Verhalten sichtbar.

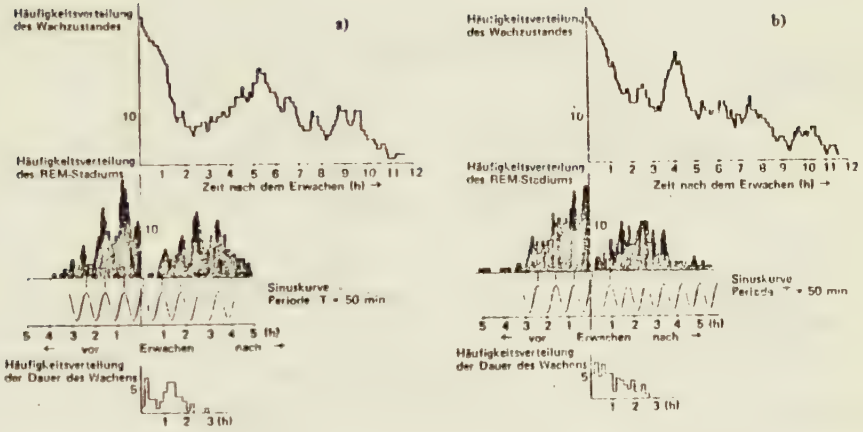


Abb. 3: Zeitliche Beziehungen im Auftreten von REM-Stadien und Wachphasen während der ersten beiden Lebenswochen.

a) Verhalten zur Tageszeit (6.00 - 18.00).

b) Verhalten zur Nacht (18.00 - 6.00). Die periodische Häufung der REM-Stadien vor und nach dem Erwachen lassen sich als Manifestationen eines durchgängigen Zyklus verstehen. Bevorzugte Zeitpunkte des Erwachens und Einschlafens scheinen durch denselben Zyklus bestimmt zu sein.

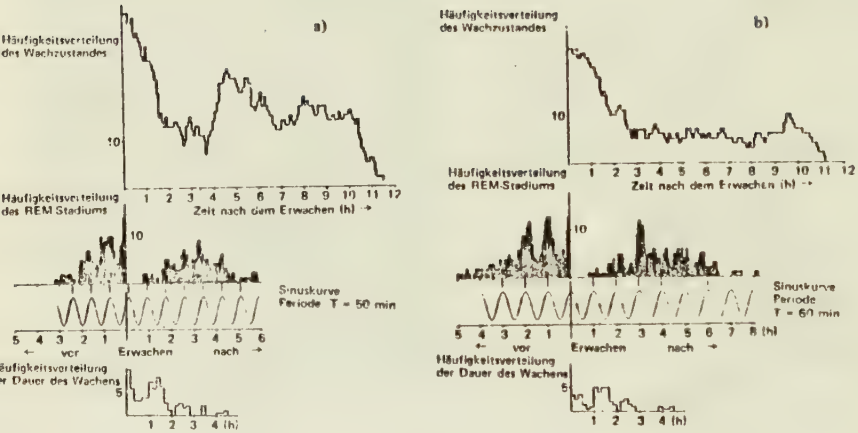


Abb. 4: Zeitliche Beziehungen im Auftreten von REM-Stadien und Wachphasen während der fünften Lebenswoche.

a) Verhalten zur Tageszeit (6.00 - 18.00)

b) Verhalten zur Nacht (18.00 - 6.00)

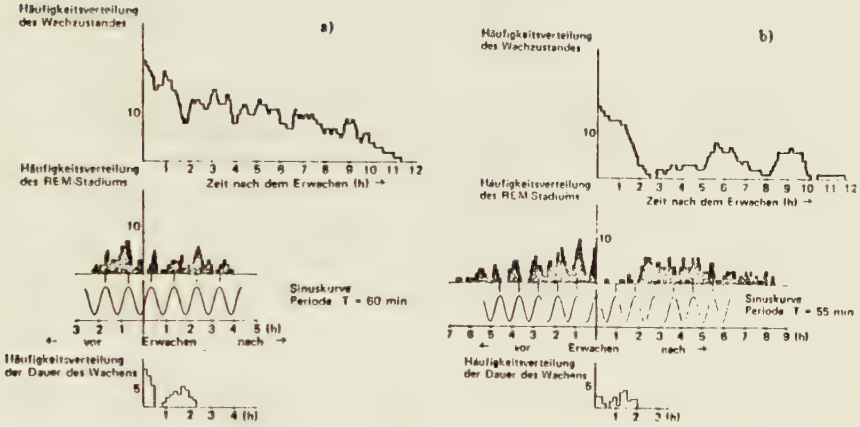


Abb. 5: Zeitliche Beziehungen im Auftreten von REM-Stadien und Wachphasen während der elften Lebenswoche.

a) Verhalten zur Tageszeit (6.00 - 18.00)

b) Verhalten zur Nacht (18.00 - 6.00)

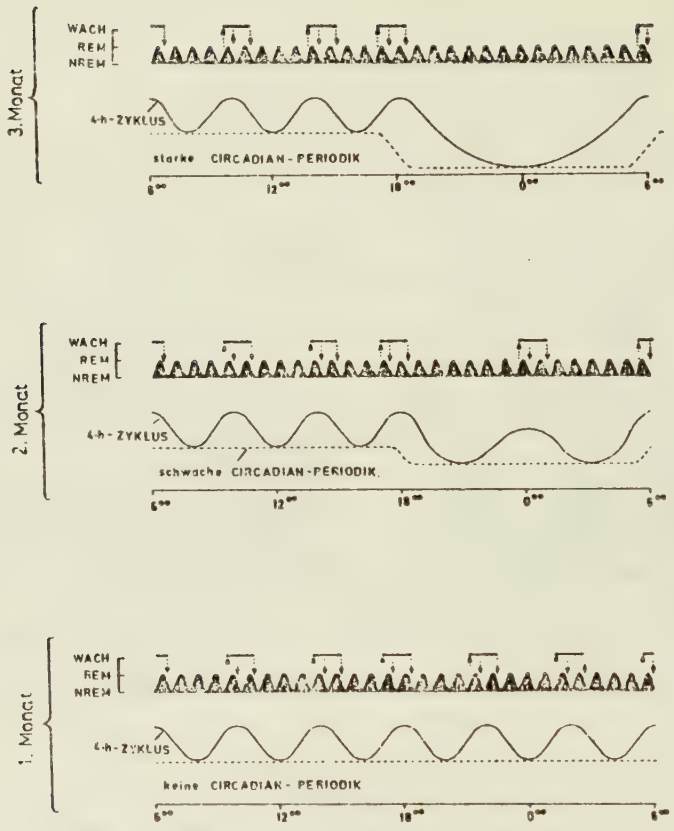


Abb. 6: Schematische Darstellung des Zusammenwirkens der drei endogenen Rhythmen zu verschiedenen Monaten der postnatalen Entwicklung. Beachte: Der 4-Std.-Zyklus induziert Übergänge in den Wachzustand. Die bevorzugten Zeitpunkte des Erwachens und Einschlafens werden durch die 50-Min.-Periode des Ruhe-Aktivitätszyklus bestimmt. Mit dem Aufkommen der Zirkadianperiodik wird die Periode des 4-Std.-Zyklus im Verlauf der nächtlichen Halbphase verlängert.

Balken: Wachphasen; :Erwachen; :Phasen bevorzugter Vigilanzverminderung

V. DISKUSSION

Anhand einer Längsschnittstudie an einem gesunden, zum Termin geborenen Säugling wurde über den Zeitraum von vier Monaten die Entwicklung des Schlaf-Wachverhaltens, sowie des Schlafmusters untersucht. Ziel der Studie ist, periodische Komponenten im Schlaf-Wachverhalten wie während des Schlafes darzustellen und ihre Beziehungen zueinander zu analysieren.
Die durch visuelle Registrierung erstellten Verhaltungsprotokolle sowie die polygraphischen Aufzeichnungen während des Schlafes waren Grundlage der vorliegenden Arbeit.

Für die graphische Darstellung wurden die ermittelten Daten auf Lochkarten übertragen und automatisch analysiert.

1. Interpretation der Dichteverteilung der Wachphasen:

Die aus der Zeitkarte für die Verteilung der Wachphasen (Abb. 1 b) berechnete Dichteverteilung des Wachzustandes zeigt im Verlauf der ersten Lebensmonate eine deutliche Entwicklung.

1. Entwicklungsabschnitt (erste bis vierte Lebenswoche)

Gleich nach der Geburt erwacht das Neugeborene, das nach "self-demand-feeding" gepflegt wurde, ungefähr alle vier Stunden. Damit werden die Untersuchungen von GESELL (1943 bestätigt, der erstmals bei Neugeborenen einen Vier-Stunden-Schlaf-Wachrhythmus beobachtete. Die Dichtefunktion für die mittlere Häufigkeit von Wachphasen erreicht in vierstündigem Wechsel ein Maximum, das einer Kumulationszone von Wachphasen entspricht.

Über einen Zeitraum von 24 Stunden betrachtet, zeigt das Schlaf-Wachverhalten des Neugeborenen eine periodische Gliederung mit je drei Wachphasen für die Nacht (18 bis 6 Uhr) und den Tag (6 bis 18 Uhr). So zeigte das von uns untersuchte Kind direkt nach der Geburt eine ausgeprägte Ultradian-Periodik von vier Stunden. Nach HELLBRÜGGE (1959) ist diese ultradiane Gliederung des Schlaf-Wachverhaltens Ausdruck für die Reife des Neugeborenen, wie auch BUSSE (1971) durch eine vergleichende Studie über das Schlaf-Wachverhalten bei früh- und reifgeborenen Kindern bestätigt.

2. Entwicklungsabschnitt (fünfte bis elfte Lebenswoche)

Diese ultradiane Gliederung von Tag und Nacht mit einer Vier-Stunden-Periodik behält das von uns untersuchte Neugeborene bis etwa zur vierten Lebenswoche bei. Mit der fünftgen Lebenswoche ändert sich dann das Bild der Dichteverteilung der Wachphasen. Das Verteilungsdiagramm der Abb. 2 a zeigt für die Nacht nur noch zwei Maxima für die Häufung von Wachzuständen. Die Schlafperioden des Kindes während der Nacht werden länger. Tagsüber bleibt die periodische Gliederung des Schlaf-Wachverhaltens in vier Stunden erhalten.

Verschiedene Unterschungen an Neugeborenen bestätigen diese Verlängerung der einzelnen Schlaf-Wachphasen (HELLBRÜGGE 1959) sowie die Häufung der Schlafphasen während der Nachtstunden (BÜHLER und HETZER 1927, GESELL 1943, KLEITMAN und ENGELMANN 1953).

Mit der Änderung im Schlaf-Wachverhalten während der Nacht beobachteten wir im EEG des Säuglings eine erste geringe Aktivität von Präspindeln (Abb. 2 b).

Nach Untersuchungen von METCALF (1970) treten Präspindeln im Schlaf-EEG von Säuglingen um die fünfte Lebenswoche auf.
Auch das erste Lächeln, Ausdruck des beginnenden sozialen Kontaktes des Kindes, fällt in die Zeit des veränderten Schlaf-Wachverhaltens.
Das Auftreten von Präspindeln im EEG bedeutet eine neurophysiologische Entwicklung des Zentralnervensystems. Nach SCHULTE und BELL (1973) sind die Frequenzspektren des EEG ein Korrelat der morphologischen Reifung des Gehirns. Auch der beginnende Kontakt des Kindes mit seiner Umwelt, das gezielte Reagieren auf akustische und taktile Reize, sowie der Versuch, sich durch Laute der Umgebung mitzuteilen, sind Gradmesser für die Reifung des Zentralnervensystems.
Der Entwicklungsschritt im EEG wie im Verhalten des Säuglings zusammen mit der Veränderung im Schlaf-Wachverhalten anfangs der fünften Lebenswoche läßt die Deutung zu, daß die Häufung von Schlafphasen und ihre gleichzeitige Verlängerung ebenfalls Ausdruck der ZNS-Reifung ist.

3. Entwicklungsabschnitt (ab der zwölften Lebenswoche)

Die Verlängerung der Schlafphasen während der Nacht führt um die elfte Lebenswoche zu einem Wegfallen der beiden Wachphasen im Zeitraum von 18 Uhr bis 6 Uhr. Die Dichtefunktion im Diagramm für die Häufung von Wachzuständen (Abb. 2 a) zeigt für diesen Zeitraum keine Maxima mehr, das Kind schläft größtenteils die Nacht über durch.
Somit hat das Kind ab der elften Lebenswoche ein dem Erwachsenen ähnliches Schlafverhalten (anfangs nur für die Nacht, da wie das Diagramm zeigt, für den Tag die Vier-Stundenperiodik bestehen bleibt) und zeigt in seinem Schlaf-Wachrhythmus eine circadiane Periodik von ungefähr 24 Stunden.

Im Zeitraum zwischen der fünften und elften Lebenswoche beeinflussen zwei rhythmische Prozesse das Schlaf-Wachverhalten des Kindes. War anfangs der fünften Lebenswoche noch die ultradiane Periodik von vier Stunden über Tag und Nacht dominierend, so verstärkt sich mit dem Alter des Kindes der circadiane Einfluß. Dabei wird während der nächtlichen Halbphase die Zeitspanne zwischen zwei Wachphasen so verlängert, daß sie sich schließlich über die Dauer einer ganzen Nacht erstreckt. Da jedoch der ultradiane Rhythmus tagsüber erhalten bleibt, scheint er durch einen Mechanismus der Frequenzmodulation an den circadianen Rhythmus gekoppelt zu sein.

Welche neurophysiologische Reifungsprozesse für diese Entwicklung des circametrischen Verhaltens verantwortlich sind, ist noch unklar. Daß jedoch die Umformung der Ultradian-Periodik in die circadiane Gliederung des 24-Stunden Tages abhängig ist vom Reifegrad bestimmter neurologischer Strukturen des Zentralnervensystems, wird durch das gleichzeitige Auftreten von EEG-Veränderungen und sichtbaren Entwicklungsschritten des Kindes in diesem Zeitabschnitt aufgezeigt.
Nach PARMELEE (1967) sind die EEG-Spindeln Ausdruck beginnender thalamo-kortikaler Verbindungen. Die Änderung im Verhalten des Säuglings wäre mit dem wachsenden Einfluß kortikaler Zentren des ZNS zu deuten.
Nach HELLBRÜGGE (1965, 1967) ist das Auftreten der circadianen Periodik abhängig vom Reifegrad des Organismus. Dies bestätigt die Studie von BUSSE (1971), die für Frühgeborene ein um sechs Wochen späteres Einschwingen in den circadianen Rhythmus beschreibt.

Unsere Untersuchung über das Schlaf-Wachverhalten des Kindes zeigte, daß der anfangs dominierende ultradiane Zyklus von vier Stunden mit zunehmendem Alter des Säuglings und damit mit wachsendem Reifegrad des Zentralnervensystems, durch den circadianen Rhythmus so moduliert wird, daß gegen Ende der elften Woche dieser den 24-Stunden Tag beherrscht.

2. Interpretation der Profildiagramme für die zeitliche Beziehung zwischen REM-Stadien und Wachphasen

Die Profildiagramme für die Häufigkeitsverteilung der REM-Stadien zeigen in jedem Entwicklungsabschnitt (Abb. 3 bis 5) eine deutliche periodische Gliederung.

Bezogen auf den Zeitpunkt des Erwachens treten REM-Stadien gehäuft im Abstand von 50, 100 und 150 Minuten vor dem Zeitpunkt des Erwachens auf. Ähnliches Verhalten beobachtet man nachdem das Kind wieder eingeschlafen war. Dies gilt sowohl für die Nacht (18 Uhr bis 6 Uhr) wie für den Tag (6 Uhr bis 18 Uhr).
Diese periodische Gliederung des Schlafmusters wird deutlich durch den sinusförmigen Modellzyklus, der in Abständen von 50 Minuten von einem REM- in ein NREM-Stadium schwingt. Die Maxima der schwarzen Profildiagramme decken sich mit den Gipfeln des Modellzyklus, die jeweils REM-Schlafperioden entsprechen. Das untersuchte Neugeborene zeigte so vom Tag der Geburt über den gesamten Zeitraum der Studie über 24 Stunden einen Grundzyklus von 50-minütiger Periode. KLEITMAN (1969) bezeichnete diesen Grundrhythmus als "basic-rest-activity cycle", mit einer Periodik von 50 Minuten, der kontinuierlich auch während des Wachzustandes vorhanden ist.
Dies zeigt die Deckungsgleichheit des Profildiagrammes für die Häufigkeitsverteilung der REM-Stadien mit dem

kontinuierlich durchlaufenden Modellzyklus auch nach dem Zeitpunkt des Erwachens. Häufigkeitsmaxima des Diagramms fallen mit Maxima der Sinuskurve zusammen.

Dieser Grundrhythmus mit einer Periode von ca. 50 Minuten bleibt für alle drei Ableitungsperioden (Abb. 3 und 5) konstant.

Eine Änderung beobachtet man jedoch in der Häufigkeitsverteilung der REM-Stadien. Für die erste und zweite Lebenswoche zeigt sich für den Tag und die Nacht ein ähnliches Diagramm. Mit einer Sequenz von vier Stunden häufen sich REM-Stadien, um dann zu einem relativen Minimum abzufallen. Da das Kind im durchschnittlichen Abstand von vier Stunden erwachte, bestand somit in einem Abstand von vier Stunden nach dem Erwachen eine geringe Wahrscheinlichkeit REM-Stadien anzutreffen. Der Vier-Stunden-Zyklus überlagert den Grundrhythmus von 50 Minuten ohne ihn zu modulieren und bewirkt im Abstand von vier Stunden einen Übergang in den Wachzustand.
Daher beobachtet man auch in der Häufigkeitsverteilung der Wachzustände eine ultradiane Gliederung, mit einem gehäuften Auftreten von Wachphasen in einem Abstand von vier Stunden nach dem ersten Erwachen.
Das veränderte Bild der Profildiagramme in Abb. 4 und 5 findet seine Erklärung im veränderten Schlaf-Wach-Verhalten zu diesem Zeitpunkt. Da für den Tag (6 Uhr bis 18 Uhr) weiterhin der ultradiane Vier-Stunden-rhythmus erhalten bleibt, zeigen die Profildiagramme im Vergleich mit dem ersten Entwicklungsabschnitt kaum ein anderes Bild. Während der nächtlichen Halbphase (18 Uhr bis 6 Uhr) spiegeln die Verteilungsdiagramme das Schlaf-Wach-Verhalten der jeweiligen Entwicklungsstufe wider.

Während der fünften Lebenswoche erwacht das Kind nur noch einmal die Nacht. Entsprechend der verlängerten Schlafperiode ist die Wahrscheinlichkeit REM-Stadien zu registrieren größer. So ist über die gesamte Dauer der nächtlichen Halbphase der periodische Wechsel von REM- und NREM-Phasen zu beobachten, Wachstadien treten kaum mehr auf.
Abb. 6 veranschaulicht durch eine schematische Darstellung der Verteilungsprofile (Abb. 3 bis 5) die zeitliche Beziehung der periodischen Komponenten im Schlafmuster und Schlaf-Wach-Verhalten des Kindes.

Während des ersten Lebensmonats wird der Grundzyklus von ca. 50 Minuten Länge durch den ultradianen Zyklus in vierständigem Abstand von Wachphasen unterbrochen. Mit beginnendem Einfluß der circadianen Periodik zur fünften Lebenswoche zeigt sich während der nächtlichen Halbphase nur mehr eine Unterbrechung.

Je deutlicher sich die nächtliche Halbphase der circadianen Periodik von ihrer Tagesphase unterscheidet, desto länger werden die Perioden des ultradianen Zyklus im Verlauf der Nacht. So oft die Superposition des circadianen Rhythmus mit dem tagesperiodisch modulierten Zyklus ein Maximum durchläuft, häufen sich Übergänge aus dem 50-Minuten-Zyklus von REM- und NREM-Schlaf in den Wachzustand. Zeigt somit das Schlaf-Wach-Verhalten des Kindes eine deutliche Entwicklung, bleibt demgegenüber der Grundrhythmus mit einem periodischen Wechsel von REM- und NREM-Stadien von 50 Minuten unverändert.

Eine deutliche zeitliche Beziehung zwischen Grundrhythmus und Wachphasen zeigt sich sowohl im Zeitpunkt des Erwachens wie in der Dauer des Wachzustandes. Ein bevorzugter Zeitpunkt des Erwachens scheint dann vorzuliegen, wenn der sinusförmige Modellzyklus zu einem Maximum ansteigt (Abb. 3 a, 4, 5). Übertragen auf das Schlafmuster des Kindes bedeutet dies, daß in

der Phase des Überganges von einem NREM-Stadium in ein REM-Stadium die Zentren des ZNS aktiviert werden, die einen Wechsel in den Wachzustand ermöglichen. Das Kind erwacht jedoch nicht in 50-minütigem Abstand, entsprechend der periodischen Gliederung des Grundzyklus, sondern zu dem Zeitpunkt, der durch die ultradiane Vier-Stundenperiodik und später durch die circadiane Periodik vorgegeben ist.

Somit scheint das Zentralnervensystem zu jeder beginnenden REM-Phase in einen Zustand erhöhter Aktivität gesetzt zu werden, die jedoch allein nicht ausreicht, das Kind in eine Wachphase übergehen zu lassen. Der Einfluß der ultradianen Vier-Stunden Periodik, wie später der circadianen Periodik, scheint nötig, um diesen Übergang in den Wachzustand zu ermöglichen.

Auch zeigt die Dauer des Wachzustandes eine Phasenbeziehung zum Grundzyklus. Ist das Kind einmal erwacht, so zeigt es entweder Wachphasen von 10 bis 20 Minuten Dauer oder von 60 bis 70 Minuten Dauer. Im Vergleich mit dem sinusförmigen Modellzyklus zeigen sich so bevorzugte Einschlafzeiten im absteigendem Teil der Sinuskurve, in jener Phase des Schlafmusters also, die, wäre das Kind nicht erwacht, dem Übergang von einer REM- ind eine NREM-Phase entspricht.

Es scheint so auch im Zeitpunkt des Einschlafens ein ähnlicher neurophysiologischer Mechanismus beteiligt zu sein, wie beim Vorgang des Erwachens, wobei jetzt der Übergang von einer REM- in eine NREM-Phase als bevorzugter Einschlafzeitpunkt zu beobachten ist.

3. Zusammenfassende Betrachung der Ergebnisse und Deutung:

Das von der Studiengruppe untersuchte Kind zeigte in allen Entwicklungsabschnitten einen Grundzyklus mit

einer Periode von ca. 50 Minuten Dauer. Diesen Grundrhythmus bezeichnete KLEITMAN (1969) als "basic-rest-activity cycle". Er ist Ausdruck einer Basisaktivität des Zentralnervensystems, die sowohl im Schlaf wie im Wachzustand vorhanden ist.
Während des Schlafes prägt der Grundzyklus das zeitliche Muster der Schlafstadien durch den periodischen Wechsel von REM- und NREM-Phasen.

In den ersten Lebenswochen des Kindes wird er überlagert von der ultradianen Vier-Stunden Periodik (Abb. 6). Sie bewirkt, daß das Kind, das in jeder Übergangsphase von einem NREM- in ein REM-Stadium erwachen könnte, in festen Abständen von vier Stunden in eine Wachphase schwingt.

Mit zunehmender Reifung des Zentralnervensystems, dokumentiert durch das Auftreten von EEG-Spindeln, wird der Einfluß kortikaler Zentren des ZNS für das Schlaf-Wach-Verhalten des Kindes bestimmend. Die ultradiane Vier-Stundengliederung des 24-Stunden-Tages wird vor allem nachts modifiziert durch einen weiteren endogenen Rhythmus, die circadiane Periodik. Dies führt zu verlängerten Schlafperioden in der nächtlichen Halbphase und ab dem dritten Lebensmonat zum Durchschlafen des Kindes.

Diese Änderung des Schlaf-Wach-Verhaltens des Kindes geht parallel zur Reifung des Gehirns, wie Verhaltensbeobachtungen und EEG-Veränderungen in den einzelnen Entwicklungsabschnitten zeigten.

Dabei scheint das beschriebene System endogener Rhythmen einen natürlichen Zeitplan für Schlaf-Wachstadien zu genrieren, welcher dem Verlauf postnataler

Hirnreifung Rechnung trägt. Durch ihr Zusammenspiel bilden die genannten drei Zyklen eine Zeitstruktur, welche die Aufnahme der ersten Eindrücke entsprechend dem zerebralen Entwicklungsstand des Kindes reguliert.

Der Grundrhythmus von 50-minütiger Periodik sorgt dabei für eine Basisaktivität primitiver Zentren des Zentralnervensystems (PARMELEE 1967), die jederzeit durch Einfluß über georndete Zentren den Übergang in den Wachzustand ermöglichen, und so für neue Informationsaufnahme sorgen.

Damit das Kind durch die mannigfaltigen Umweltreize nicht überfordert wird, bestimmt anfangs die ultradiane Vier-Stunden-Periodik seinen Tagesablauf. Mit der Reifung der thalamo-kortikalen Bahnen wird für das Kind mehr und mehr die externe Tagesroutine zum Zeitgeber; es gerät unter den Einfluß der circadianen Periodik.
Somit wird durch das Zusammenwirken der drei genannten endogenen Zyklen dem Kind entsprechend seinem Entwicklungsstand genügend Zeit zur Informationsaufnahme gegeben, durch entsprechend lange Schlafperioden aber auch dafür gesorgt, daß der Informationsstrom verarbeitet werden kann.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Anhand einer Längsschnittstudie vom Tag der Geburt bis zum Ende des vierten Lebensmonat wurde das Schlaf-Wach-Verhalten eines gesunden, männlichen Säuglings analysiert. Zu verschiedenen Entwicklungsabschnitten wurde zusätzlich die zeitliche Folge der Schlafstadien polygraphisch untersucht. Durch statistische Analysen wurde nachgewiesen, daß dem spontanen Schlaf-Wach-Verhalten drei endogene Rhythmen zugrunde liegen:

1. Ein Grundzyklus von einer Periode von 50 Minuten, der dem "basic-rest-activity cycle" entspricht, den KLEITMAN (1969) erstmals beschrieb. Dieser Grundzyklus ist Ausdruck einer Basisaktivität des ZNS, die unverändert über alle Entwicklungsstufen zu beobachten ist.

   Im Schlafmuster findet dieser Grundzyklus seinen Ausdruck im periodischen Wechsel von REM- und NREM-Stadien.

2. Der Grundrhythmus wird überlagert (in den ersten Lebenswochen) von einem ca. Vier-Stunden-Rhythmus, der nach GESELL (1943) schon gleich nach der Geburt zu beobachten ist.
   Er bewirkt im Abstand von vier Stunden einen Übergang in den Wachzustand.
   Bevorzugte Zeitpunkte des Erwachens sind dabei Übergangsphasen von NREM- in REM-Stadien des Grundzyklus. Das Kind schläft bevorzugt in jener Phase des Ruhe-Aktivitätszyklus ein, die dem Übergang eines REM- in ein NREM-Stadium entspricht.

3. Ab der fünften Lebenswoche wird das Schlaf-Wach-Verhalten des Kindes durch einen circadianen Rhythmus modifiziert.
   Sein Einfluß führt anfangs zu verlängerten nächtlichen Schlafperioden, und schließlich zum Durchschlafen des Kindes während der Nacht.

Diese Befunde bestätigen frühere Untersuchungen von KLEITMAN und ENGELMANN, PARMELEE, HALBERG, HELLBRÜGGE und anderen.

Die vorliegende Studie zeigt außerdem, daß die drei endogenen Komponenten für das biologische Verhalten des Kindes ein System gekoppelter Oszillatoren bilden. Durch ihr Zusammenwirken modifizieren sie das Schlaf-Wach-Muster so, daß seine zeitliche Struktur dem neurologischen Reifungsprozeß Rechnung trägt.

Das Neugeborene lernt seine Umwelt innerhalb der zeitlichen Sequenz von Schlaf-Wachperioden kennen. Die Funktion der drei genannten endogenen Rhythmen scheint darin zu liegen, einen natürlichen Zeitplan für die Entwicklung des Kindes zu erstellen.

So wird der Informationsstrom für das Neugeborene entsprechend seinem neurologischen Entwicklungsstand reguliert.

LITERATURVERZEICHNIS

ANDERS T.F., ROFFWARG H.P.: "Relationship between maternal and neonatal REM-sleep periods"
Neuropäd. 4 (1972)

ASCHOFF J.: "Zeitgeber der tierischen Tagesperiodik"
Naturw. 41 (1954)

ASCHOFF J.: "Exogene und endogene Komponenten der 24-Stunden-Periodik bei Tier und Mensch"
Naturw. 42 (1955)

ASCHOFF J.: "Circadian rhythms in man"
Science 148 (1965)

ASCHOFF J.: "Human circadian rhythms in activity, body temperatur and other functions"
Amsterdam, North Holl. Life Sci.Space Res. 5 (1967)

ASCHOFF J.,WEVER R.: "Spontanperiodik des Menschen bei Ausschluß aller Zeitgeber"
Naturw. 42 (1962)

ASKERINSKY E.,KLEITMAN F.: "Regularly occurring periods of eye-motility and concomitant phenomena during sleep"
Science 118 (1953)

ASKERINSKY E.,KLEITMAN F.: "A motility cycle in sleeping infants as manifested by ocular and gross body activity"
Univ.of Chic.J.App.Physiol. 8, 11 (1955)

BATSEL: "Electroenceph.synchronization and desynchronisation in the chronic cerveau isolé of the dog" Electroencephalogr.clin. Neurophys. 12 (1970)

BERT J.,PEGRAM V.: "Sleep and environment" Medical Primatology 1972 part II Karger Basel (1972)

BÜHLER CH.,HETZER H.: "Inventar der Verhaltensweisen des ersten Lebensjahres" Gustav Fischer Verlag, Jena (1927)

BUSSE M.: "Über den Aufbau circametrischer Prozesse des Schlaf-Wachverhaltens bei früh- und reifgeb. Kindern" Inauguraldiss.Univ.München (1971)

DEMENT W.C.,KLEITMAN N.: "Cyclic variation in EEG during sleep and their relation to eye-movement, body motility and dreaming" Electroencephalogr.clin. Neurophys. 9 (1957 a)

DEMENT W.C.,KLEITMAN N.: "The relation of eye-movements during sleep in relation to dream activity" J. exp. Psychol. 53 (1957 b)

DEMENT W.C.: "The occurrence of low voltage fent electroencephalogramm patterns during behavioural sleep in the cat" Electroencephalogr.clin. Neurophy. 10 (1958)

DITTRICHOVA J.: "Development of sleep in full-term and premature infancy" (1969)

DREYFUS-BRISAC C.: "EEG of the premature infant and fullterm newborn: normal and abnormal development of waking and sleeping patterns" P.Kellaway and J.Peterson (Eds) Neurol. and encephalogr. studies in infancy N.Y. (1964)

DREYFUS-BRISAC C.: "Ontogenèse du someil chez le prématué humain: étude polygraphique
Minowski (ed.): Regional development of the brain in early life
Oxford Blackwell (1967)

DREYFUS-BRISAC C.: "Sleep-ontogenesis in early human prematurity from 24 to 27 weeks of conceptional age" Devel. Psych. 1 (1968)

ELLINGSON R.J.: "Development of wakefulness-sleep cycles and associated EEG-patterns in mammals" D.Clemente,D.Purpura, E.Mayer (Eds.) sleep and the maturing nervous system
N.Y. Acad. Press (1972)

EMDE R.,SWEDBERG J.,SUSUKI B.: "Human wakefulness and biological rhythms after birth"
Arch.gen.Psychiatr. 32 (1975)

GESELL A.: "Infant and child in the culture of today" Yale Univ. Press Yale (1943)

GLOBUS G.: "REM-sleep manifestation during waking" Psychophysiol. 7 (1970)

GLOBUS G.,DRUSY R.,PHOEBUS E.,BOYD R.: "Ultradian rhythms and performance" Percept.and Mot.Skills (1971)

HALBERG F.,VISCHER M.B.,BITTNER J.J.: "Relation of visual factors to eosionophil rhythm in mice" Amer.J.Physiol. 179 (1954)

HALBERG F.,HALBERG E.,BARNUM E.P.,BITTNER J.J.: "Photoperiodisme" Publ.no. 55 Amer.Assoc.Advance Soc. Washington (1959)

HALBERG F.: "Periodicity analysis a potential tool for biometeologists" Int.J.Biometeo. 7 (1963)

HARRIS D.B.,HARRIS E.: "A study of fetal movements in relation to mother's activity" Hum.Biol. 18 (1946)

HELLBRÜGGE TH.,LANGE J.,RUTENFRANZ J.: "Schlafen und Wachen in der kindlichen Entwicklung" Arch.Kinderheilk.Beiheft 39 Ferdinand Enke Verlag Stutt. (1959)

HELLBRÜGGE TH.: "The development of circadian rhythms in infant" Biol.clocks Cold Springs Hab.Symp. Quant.Biol. (1960)

HELLBRÜGGE TH.: "Zeitliche Strukturen in der kindlichen Entwicklung" Mschr. Kinderheilk. 113 (1965)

HELLBRÜGGE TH.: "Chronophysiologie des Kindes" Verh.Deutsch.Gesell.Inn.Med. Wiesbaden J.F.Bergman Verlag München (1967 a)

HELLBRÜGGE TH.: "Ontogenèse des rhytmes circadiaires chez l'enfant" 3ieme Symp. de Bel-Air Genève (1967 b)

JOUVET M.: "Tlencephalic and rhombencephalic sleep in the cat" in: The nature of sleep. G.E.W.Wolsten home, M.Comor London (1961)

JOUVET M.: "Recherches sur les structures nerveuses et les mécanismes respondables des différentes phases du someil physiologique" Arch.Ital.Biol. 100 (1962)

JOUVET M.: "Neurophysiology of the states of sleep" Neurosaences: Rockefeller University Press. N.Y. (1967)

JOUVET M., JOUVET D.: "Le someil et les réves chez les animaux" Psychiatrie animal Paria (1964)

KLEITMAN N.,ENGELMANN TH.: "Sleep characteristics in infants"
J.Appl.Physiol.6 (1953)

KLEITMAN N.: "Sleep and wakefulness"
Univ. of Chicago Press Chicago (1963)

KLEITMAN N.: "Basic-rest-activity cycle in relation to sleep and wakefulness" (1969)

KRIPKE D.F.: "Ultradian rhythms in rhesus monkeys"
Psychophys. 7 (1970)

LENARD: "The development of sleep spindles in the EEG during the first two years of life"
Neuropädiatrie 1 (1970)

METCALF D.R.: "EEG-sleep spindles ontogenesis"
Neoroped. 1 No 4 (1970)

MORATH M.: "The four-hour feeding rhythm of the baby as a free-running endogenously regulated rhythm"
Inter.J.Chronobiol.2 (1974)

OTHMER E.,HAYDEN M.P.,SEGELGAUM R.: Science 164 (1969)

PARMELEE A.M.: "Sleep patterns of infancy-a study of one infant from birth to eight month of age"
Act.Ped. 50 (1961)

PARMELEE A.H.,WENNER W.H.,SCHULZ H.R.: J.Ped. 65 (1964)

PARMELEE A.H.,WENNER W.H.,AKIYAMA Y.,STERN E.,
FLESCHER J.: "Electroencephalo. and brain maturation"
in: Regional development of the brain in the early life
A.Minofski (ed.) Oxford (1967)

PARMELEE A.H.,AKIYAMA Y.,STERN E.,HARRIS M.A.:
"A periodic cerebral rhythm in newborn infants"
Exp.Neurol. 25 (1969)

PARMELEE A.H., et al.: "Development of states in infants"
in: C.D.Clemente et al, (Eds.)
Sleep and the maturing nervous system
N.Y.Acad.Press (1972)

PARMELEE A.H.: "The ontogenesis of sleep patterns and associated periodicities in infants"
Prenatal and postnatal development of the brain
Basel (1973)

PARMELEE A.H.,STERN E.,HABER A.: "Activity states in premature and term infants"
Devel. Psychobiol. 6 (1973)

PAYNE G.S.,BACH L.: "Perinatal slepp-wake cycles"
Biol.-Neonat. 8 (1965)

ROFFWARG H.P.: "Preliminary observations of the sleep-dreaming pattern of neonates children and adults"
Perganon Press N.Y. (1964)

ROFFWARG H.P., et al.: "Ontogenetic development of the human sleep-dream cycle"
Science 152 (1966)

RUCKEBUSCH: "Development of sleep and wakefulness in the foetal lamb"
Electroenceoph. Neurophys. 32
(1972)

RUTENFRANZ J.: "Circadian systemb"
S.J.Fomon (ed.) Ross Lab.
Columbus (1961)

SCHULTE F.J.,BELL E.F.: "Bioelectric brain development"
(An atlas of EEG power spectra in infants and young children)
Neuroped. 4 (1973)

SCHNEIDER: "Activity of fetus and mother"
Child. Devel. 12 (1941)

SÖDERLING B.: "The first smile"
Acta Ped. Scan. 48 Uppsala (1959)

STERMAN M.B.: "Sleep and performance studies in the cat"
Psychophysiol. 7 (1971)

STERMAN M.B.: "Sleep and the maturing nervous system"
in: C.D.Clemente,Purpura,Mayer
N.Y.Academ.Press (1972)

STERMAN M.B.,HOPPENBROUWERS T.: "The development of sleep-waking and rest-activity patterns from fetus to adult man"
in: Sterman,Ginty,Adinolfi (Eds.)
Brain development and behavior
N.Y.Acad.Press (1971)

STERN E.,PARMELEE A.H.,AKIYAMA Y.,SCHULZ M.A.,WENNER W.H.: "Sleep cycle characteristics in infant" Ped. 43 (1969)

STERN E.: "Sleep-state periodicity in prematures and young infants" Devel.Psyhcobiol. 6 (1972)

VILLABLANCA J.: "Behavioral and polygraphic study of sleep and wakefulness in chronic decerebrate cats" Electroenceph.clin.Neurophysiol.21 (1966)

WADA T.: Arch.Psychology 57 (1922)

WEVER R.: "Gesetzmäßigkeiten circadianer Aktivitätsrhythmen bei Tier und Mensch" R.Chauvin (ed.) Paris 3 (1966)

Herrn Prof. Dr. med. Th. Hellbrügge danke ich für die freundliche Überlassung des Themas

Die vorliegende Dissertation ist Teil einer polygraphischen Verhaltensstudie, deren Ergebnis in folgenden, bereits erschienen Publikationen beschrieben wurden:

A. Meier-Koll, U. Hall., U. Hellwig, G. Kott und V. Meier-Koll

1. "Biologische Rhythmen als Zeitstrukturen der postnatalen Entwicklung".
   Verhaltensbeobachtungen und polygraphische Messungen an einem gesunden Neugeborenen.

2. "A biological oscillator system and the development of sleep-waking behavior during early infancy".

Mein herzlichster Dank gilt Herrn Dr. rer. nat. A. Meier-Koll für die liebenswerte und verständnisvolle Unterstützung bei der Zusammenstellung dieser Arbeit, vor allem bei der Datenverarbeitung der polygraphischen Ableitungen.

Frl. H. Manner danke ich für die Hilfe während der Schlafableitungen und ihre Bereitschaft, bei zeitlichem Druck bei der Ausarbeitung der Daten mitzuhelfen.

LEBENSLAUF

Als Tochter von Wolfgang Hall und Annemarie Hall, geb. Riepertinger, wurde ich am 1. November 1951 in München geboren. Von 1958 bis 1962 besuchte ich bei den Englischen Fräulein in Nürnberg die Volksschule, ab Anfang 1963 bis 1968 das Neusprachliche Gymnasium in Rosenheim. Den Rest meiner Schulzeit war ich am Gymnasium Grafing und machte dort 1971 mein Abitur.

Im Wintersemester 1971/72 begann ich mit dem Medizinstudium an der Universität München. 1973 bestand ich das Physikum. Die klinischen Semester verliefen nach der neuen Approbationsordnung mit dem ersten Teil der ärztlichen Prüfung 1975 und dem zweiten Teil 1976. Während des praktischen Jahres war ich für Innere Medizin vier Monate in der II. Medizinischen Klinik der Universität, für Chirurgie vier Monate im Schwabinger Krankenhaus und vier Monate für das freie Fach in der Kinderklinik der Universität.

1977 erhielt ich mit dem bestandenen dritten Teil des Staatsexamens meine Approbationsurkunde.

Seit dem 1. November 1977 bin ich als chirurgische Assistentin in der Privatklinik Fritz Wolfart in Gräfelfing tätig.